



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

**Anàlisi de diferents Guies d'Avaluació
de projectes Ex-Ante. Cas aplicat:
Tramvia de la Diagonal, Barcelona**

Treball realitzat per:

Irene de Cubas Martí

Dirigit per:

Àlvar Garola Crespo

Grau en:

Enginyeria Civil

Barcelona, 15 de juny de 2015

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

TREBALL FINAL DE GRAU

RESUM

Títol: Anàlisi de diferents Guies d'Avaluació de projectes Ex-Ante. Cas aplicat: Tramvia de la Diagonal, Barcelona

Autora: Irene de Cubas Martí

Tutor: Àlvar Garola Crespo

Paraules clau: avaluació econòmica, Guia d'Avaluació, projecte ex-ante, tramvia, Barcelona

Aquest treball realitza un estudi sobre l'avaluació econòmica de projectes d'inversió pública ex-ante i la presa de decisions

S'efectua una anàlisi de les diferents guies d'avaluació catalanes: MAIT, SAIT, MIVES. Els dos primers, són manuals totalment quantitius i monetaris, per la qual cosa els resultats finals es poden comparar. L'últim, manual que és quantitiu però al final és una anàlisi Multicriteri, ajuda a comparar entre alternatives però no es pot equiparar al MAIT i SAIT.

En el cas pràctic, s'analitza molt detalladament la xarxa del tramvia de l'Avinguda Diagonal amb els tres manuals anteriorment esmentats. Els resultats finals del MAIT i el SAIT, tenint en compte que les metodologies i paràmetres són diferents, donen bastant iguals. El MIVES, com ja s'ha esmentat anteriorment no es pot comparar amb les altres guies.

Per últim, la rendibilitat socioeconòmica del projecte del tramvia surt bona, però no és un projecte d'alta prioritat per la ciutat de Barcelona.

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ, OBJECTIUS I METODOLOGIA	11
CAPÍTOL I: AVALUACIÓ ECONÒMICA	13
1. Mètodes d'Avaluació.....	13
1.1. Anàlisi Cost-Benefici	13
1.1.1. Etapes de l'ACB	14
1.2. Anàlisi financer.....	21
1.3. Altres tipus d'anàlisi objectiu	22
1.4. Anàlisi multicriteri	24
2. Guies d'avaluació	26
2.1. MAIT	27
2.2. SAIT	30
2.3. MIVES.....	36
2.3.1. Estructura de la presa de decisions	36
2.3.2. Etapes del MIVES	37
2.3.3. Programa informàtic	38
2.4. Manuals d'altres països.....	40
CAPÍTOL II: CAS APLICAT, CONNEXIÓ XARXA TRAMVIA DE TRAMBAIX I TRAMBESÒS	42
1. Justificació de l'elecció del cas pràctic	42
2. Situació geogràfica i antecedents	42
3. Descripció del projecte.....	48
3.1. Alternatives del projecte	50
3.2. Dades per l'Anàlisi Cost-Benefici	55
3.2.1. Costos	56
3.2.2. Beneficis.....	57
3.2.3. Externalitats.....	59
4. Guies d'avaluació aplicades	62
4.1. MAIT	62

4.1.1.	Costos	62
4.1.2.	Beneficis.....	62
4.1.3.	Externalitats.....	63
4.1.4.	Resultats	65
4.1.5.	Anàlisi de sensibilitat	69
4.1.6.	Resultats amb paràmetres del SAIT	72
4.2.	SAIT	79
4.2.1.	Costos	79
4.2.2.	Beneficis.....	79
4.2.3.	Externalitats.....	80
4.2.4.	Resultats	82
4.2.5.	Anàlisi de sensibilitat	86
4.3.	Anàlisi de sensibilitat general pel MAIT i SAIT.....	87
4.4.	MIVES.....	89
CONCLUSIONS		95
BIBLIOGRAFIA.....		97

Índex de figures

Figura 1. Esquema de l'Anàlisi Cost-Benefici. Font: Col·legi de Camins, Canals i Ports, 2010 ...	14
Figura 2. Diferència entre el transit desviat (captat d'altres medis de transport) i el transit generat (induït). Font: Col·legi de Camins, Canals i Ports, 2010	15
Figura 3. Esquema a seguir del MAIT. Font: Elaboració pròpia	27
Figura 4. Esquema de les diferents etapes del SAIT. Font: DGIMT, 2015	30
Figura 5. Matriu agents-impactes per NOVA LÍNIA de ferrocarril, PERLLONGAMENT o DESDOBLAMENT (DGIMT, 2015).....	35
Figura 6. Estructura general de la presa de decisions del MIVES. Font: Josa, A. et al., 2009	36
Figura 7. Arbre de requeriments del MIVES. Font: Josa, A. et al., 2009	38
Figura 8. Conversió del model Usuari de .mip a .miu. Font: Josa, A. et al., 2009	39
Figura 9. Conversió del model Report de .miu a full de càlcul. Font: Josa, A. et al., 2009.....	39
Figura 10. Anys de publicació dels diferents manuals. Font: Elaboració pròpia.....	41
Figura 11. Proposta de TMB de la línia Diagonal de metro lleuger. Font: Lahoz, M., 2015.....	43
Figura 12. Fitxa AX12b, Tramvia Diagonal – Besòs, del PDI 2001-2010. Font: ATM, 2009	44
Figura 13. Circulació d'un tramvia model Combino, de SIEMENS, pel tram pilot de la Diagonal. Font: Lahoz, M., 2015.....	44
Figura 14. Secció actual de la Diagonal. Font: Ajuntament de Barcelona, 2016.....	45
Figura 15. Xarxa actual de les 5 línies en funcionament del tramvia de Barcelona. Font: MCRIT, 2011.....	47
Figura 16. Mapa de la nova línia entre Pl. Francesc Macià i Pl. De les Glòries. Font: Ajuntament de Barcelona, 2016.....	48
Figura 17. Seccions estudiades de la Diagonal amb estacions. Font: Ajuntament de Barcelona, 2016.....	49
Figura 18. Plànol guia de les alternatives possibles. Font: Ajuntament de Barcelona, 2016.....	51
Figura 19. Gràfic dels resultats de l'Anàlisi Cost-Benefici per Tramvia en M€. Font: Elaboració pròpia	66
Figura 20. Gràfic dels balanços durant la vida útil de la infraestructura. Font: Elaboració pròpia	67
Figura 21. Gràfic tornado de l'anàlisi de sensibilitat de cada hipòtesis. Font: Elaboració pròpia	72
Figura 22. Gràfic dels costos i beneficis agregats del nou model. Font: Elaboració pròpia.....	73
Figura 23. Comparació dels beneficis agregats entre el model del MAIT i el model del SAIT amb demanda no constant. Font: Elaboració pròpia.....	75

Figura 24. Variació del VAN segons el percentatge de modificació del valor del temps. Font: Elaboració pròpia amb l'Excel d'ajuda (DGIMT, 2015).....	86
Figura 25. Capçalera dels tres mòduls del MIVES. Font: Programa MIVES.....	89
Figura 26. Arbre de requeriments pel cas de l'Avinguda Diagonal. Font: Elaboració pròpia en el programa MIVES	90
Figura 27. Matriu de pesos del criteri de Demanda. Font: Elaboració pròpia en el programa MIVES	91
Figura 28. Pesos dels requeriments en l'alternativa del Cas Base. Font: Elaboració pròpia	93
Figura 29. Pesos dels requeriments en l'alternativa del Cas Tramvia. Font: Elaboració pròpia .	94

Índex d'equacions

Equació 1	17
Equació 2	17
Equació 3	17
Equació 4. Increment en el cost de circulació viari pel Tramvia, on l'increment de temps per kilòmetre recorregut és 0,45 min/km. Font: Ruiz, D., 2015.....	61
Equació 5. Cost total de la pèrdua viària a la Diagonal, on la distància del Tramvia és de 3,94km. Font: Ruiz, D., 2015	61
Equació 6	63
Equació 7	64
Equació 8	64
Equació 9	65
Equació 10	80
Equació 11. Beneficis de la reducció de soroll dels vehicles lleugers. Font: Elaboració pròpia..	81
Equació 12. Beneficis anuals per la disminució de contaminació de gasos. Font: Elaboració pròpia	81
Equació 13. Beneficis anuals per la reducció de carburant utilitzat. Font: Elaboració pròpia....	82

Índex de taules

Taula 1. Projectes de la Regió de Barcelona entre 2011 i 2020. Font: ATM, 2013	19
Taula 2. Estat d'execució de les actuacions del PDI 2011-2020. Font: ATM, 2013.....	19
Taula 3. Resum diferències entre AF i ACB. Font: DGIMT, 2015.....	21
Taula 4. Principals característiques dels tipus d'anàlisi per a fer una avaluació econòmica. Font: Ivàlua, 2009	23
Taula 5. Exemple de gràfic d'una Matriu Multicriteri per l'extensió de la L7 del tramvia de París. Font: Ripoll, F., 2014.....	24
Taula 6. Variació del IPC entre els anys 2010 i 2017. Font: Elaboració pròpia a partir d'INE	26
Taula 7. Coeficients del valor del temps i d'ocupació dels vehicles segons el motiu del viatge d l'usuari. Font: Elaboració pròpia a partir del MAIT, IDESCAT1 i INE2	28
Taula 8. Principals indicadors d'emissions de gasos per una via urbana (50 km/h). Font: Elaboració pròpia a partir del MAIT i INE2	28
Taula 9. Cost (€/tona) del les emissions de CO2 amb any 2030 com horitzó. Font: CASES, 2007	28
Taula 10. Preu de la contaminació acústica. Font: Elaboració pròpia a partir del MAIT i INE2 ..	29
Taula 11. Criteris d'avaluació del manual MAIT. Font: Col·legi de Camins, Canals i Ports, 2010	29
Taula 12. Ràtio entre preus de mercat i preus ombra. Font: ADIF, 2013	31
Taula 13. Paràmetres del valor del temps segons el motiu del viatge d l'usuari. Font: Elaboració pròpia a partir del SAIT.....	32
Taula 14. Principals indicadors d'emissions de gasos per una via urbana (50 km/h). Font: Elaboració pròpia a partir del SAIT i INE2	32
Taula 15. Preu de la contaminació acústica. Font: Elaboració pròpia a partir del SAIT	32
Taula 16. Llegenda de cel·les de la matriu agents-impactes. Font: DGIMT, 2015	34
Taula 17. Zones analitzades amb manuals ACB. Font: Elaboració pròpia a partir de DGIMT, 2015	40
Taula 18. Anàlisi multicriteri de l'alternativa del Tram a la Diagonal. Font: Ajuntament de Barcelona, 2016.....	53
Taula 19. Resultats de l'Anàlisi Cost-Benefici de les 4 alternatives. Font: Ajuntament de Barcelona, 2016.....	54
Taula 20. Preus d'Espanya de la gasolina i el gasoil al 2017. Font: Elaboració pròpia a partir de MINETAD, 2017	55
Taula 21. Repartiment de la mobilitat per motius de viatge a la xarxa de Tramvia. Font: TRAM, 2009.....	56

Taula 22. Resum de la inversió inicial del projecte (€). Font: Lahoz, M., 2015	56
Taula 23. Demanda variable d'usuaris diaris fins al 2048. Font: Elaboració pròpia	58
Taula 24. Demanda constant d'usuaris fins al 2048. Font: Elaboració pròpia	58
Taula 25. Reducció de les emissions dels diferents gasos i els seu valor econòmic. Font:	
Elaboració pròpia	64
Taula 26. Beneficis socials relatius de cada any fins al 2048. Font: Elaboració pròpia	66
Taula 27. Resultats finals de l'Anàlisi Cost-Benefici per la guia MAIT. Font: Elaboració pròpia .	68
Taula 28. Criteri d'avaluació en el cas del MAIT. Font: Elaboració pròpia	69
Taula 29. Costos i beneficis agregats socials amb un guany de 2 minuts per l'usuari del	
transport públic. Font: Elaboració pròpia	69
Taula 30. Diferència dels indicadors de rendibilitat amb la modificació dels minuts guanyats.	
Font: Elaboració pròpia	70
Taula 31. Hipòtesis valor de temps. Font: Elaboració pròpia.....	71
Taula 32. Hipòtesi. Font: Elaboració pròpia	71
Taula 33. Anàlisi de sensibilitat del VAN (M€) amb una modificació del 20%. Font: Elaboració	
pròpia	72
Taula 34. Comparativa dels paràmetres de les dues guies catalanes. Font: Elaboració pròpia .	73
Taula 35. Comparació dels guanys i pèrdues entre els tipus de transport i els diferents models.	
Font: Elaboració pròpia	74
Taula 36. Criteri d'avaluació en el nou model amb paràmetres del SAIT. Font: Elaboració pròpia	
.....	76
Taula 37. Resultats finals amb diferents paràmetres i taxa de descompte. Font: Elaboració	
pròpia	76
Taula 38. Resultats finals de l'Anàlisi Cost-Benefici pel nou model amb paràmetres del SAIT.	
Font: Elaboració pròpia	78
Taula 39. Temps mitjà estalviat anualment per cada tipus d'usuari. Font: Elaboració pròpia...	80
Taula 40. Beneficis anuals de tots els vehicles per la disminució de soroll. Font: Elaboració	
pròpia	81
Taula 41. Beneficis anuals al disminuir l'emissió de gasos. Font: Elaboració pròpia	81
Taula 42. Resultats beneficis anuals per la disminució de carburant utilitzat. Font: Elaboració	
pròpia	82
Taula 43. VAN dels costos, beneficis i externalitats del Tramvia en la Diagonal. Font: Elaboració	
pròpia	83
Taula 44. Criteri d'avaluació del model del SAIT. Font: Elaboració pròpia	83
Taula 45. Resultats finals amb els tres models analitzats. Font: Elaboració pròpia	84

Taula 46. Matriu agents-impactes pel Tramvia en la Diagonal. Font: Elaboració pròpia en l'Excel d'ajuda del SAIT.....	85
Taula 47. Pes en unitats normalitzades de tots els indicadors del MIVES. Font: Elaboració pròpia en el programa MIVES	92
Taula 48. Resultat final en unitats normalitzades MIVES. Font: Elaboració pròpia.....	93

INTRODUCCIÓ, OBJECTIUS I METODOLOGIA

L'avaluació econòmica de projectes d'inversió requereix un coneixement adequat de les tècniques i mètodes d'anàlisi. Aquests procediments i fórmules ajuden a la resolució de problemes reals, situats en un context econòmic, social i institucional determinat que alhora condicionarà el conjunt d'alternatives disponibles. Amb aquesta simplificació, s'intenta substituir un problema real per un model manejable que reflecteixi l'essencial de la complexa realitat.

Per saber si un projecte d'inversió és socialment desitjable, una Anàlisi Cost-Benefici permet comparar els beneficis i costos que es deriven de la seva execució. Al identificar els efectes que beneficien o perjudiquen a l'agent que realitza l'avaluació, s'han de tenir en compte tots els efectes significatius amb independència de qui sigui el beneficiat o perjudicat. El problema és que no és suficient el corrent d'ingressos i costos associats als projectes per concloure el seu valor social: molts dels efectes rellevants que es deriven de les actuacions públiques no es tradueixen en ingressos.

El benefici més important de l'avaluació econòmica d'un projecte és el nou punt de vista tècnic i professional que li donen als polítics per prendre la decisió de si un projecte s'emprèn o si es rebutja. Llavors, si estan interessats en el benefici públic, valorarà els estudis realitzats; i si la seva finalitat és un altra, amb aquestes anàlisis tindrà més dificultats per anteposar interessos parcials als generals.

Com a conseqüència d'aquest factor, un dels objectius principals d'aquest treball és estudiar si, amb les guies d'avaluació més utilitzades a Catalunya, amb una mateix projecte i dades bàsiques, el resultat final estarà sotmès una certa subjectivitat per a que doni la decisió que es vol obtenir. Així mateix, una altra finalitat és examinar aquests manuals detalladament i comparar entre ells els diferents resultats finals de rendibilitat, ja que es treballarà amb la mateixa informació bàsica en tots els casos.

Les tres guies catalanes que s'analitzaran són el MAIT, el SAIT i el MIVES. El manual MAIT es va elaborar a 2010 pel Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Catalunya, a través de la seva Comissió de Transports. El SAIT, creat a partir d'una col·laboració amb tots els organismes principals de Catalunya l'any 2015. Per últim el MIVES, una guia no monetària però amb baixa subjectivitat en la presa de decisió. Al tenir en compte que no totes les guies són quantitatives, podem veure si els mètodes no monetaris són igual d'exactes que els altres.

En molts països, els mètodes d'avaluació són obligatoris com a manera de prendre decisions. Els governs demanen que, abans de la construcció d'un projecte, s'ha d'haver fet un estudi exhaustiu sobre la rendibilitat d'aquesta inversió. Per això i per tenir una idea més clara de quins són els paràmetres més importants que sempre es tenen en compte, en aquest treball s'analitzen diferents manuals d'avaluació econòmica de països i zones.

El treball es dividirà en dos capítols. El primer és la part teòrica on s'analitzaran els mètodes d'avaluació, com l'Anàlisi Cost-Benefici o d'altres, i les Guies d'Avaluació existents en aquest país i d'altres. En el segon capítol, es posarà en pràctica el que s'ha après en el projecte del Tramvia a Barcelona, es compararà els resultats de rendibilitat social de les diferents guies i s'estudiarà si la presa de decisions és molt homogènia sense importar quin mètode s'utilitzi.

En el cas aplicat, es vol determinar si l'impacte socioeconòmic de la unió de les dues xarxes de tramvies, el Trambaix i el Trambesòs, serà molt elevat. Aquest projecte és un dels més polèmics de l'actualitat de Barcelona, sent un tema molt important per la política de la ciutat.

L'Ajuntament de Barcelona, al març de 2016, va fer un estudi detallat sobre les diferents alternatives possibles per aquest projecte. Aquest informe no mostra cap xifra ni càlcul de com s'han obtingut els indicadors finals. És a dir, és una anàlisi que un extern no pot tornar a reproduir perquè no hi ha la informació suficient per realitzar-ho.

Per aquest motiu, el que es farà en aquest cas pràctic és partir de la informació bàsica donada per l'Ajuntament de Barcelona (2016): els números de la demanda captada, temps de viatge, els costos de inversió i manteniment, etc. I amb aquestes dades, realitzar un estudi de la rendibilitat amb les tres guies d'avaluació MAIT, SAIT i MIVES mencionades prèviament. S'analitzarà des dels tres punts de vista diferents, l'alternativa que l'Ajuntament de Barcelona (2016) diu que és la més rendible per la societat: el Tramvia de la l'Avinguda Diagonal a Barcelona.

Aquest tipus d'avaluació econòmica s'avalua amb criteris d'eficiència, no amb criteris d'equitat. És a dir, no s'analitza si el tramvia és avantatjós pels usuaris, sinó únicament si els beneficis superen els costos. En aquest treball s'estudia si és eficient construir el tramvia en l'Avinguda Diagonal per la ciutat, no si és equitatiu o si s'hauria d'implantar a tota la ciutat.

CAPÍTOL I: AVALUACIÓ ECONÒMICA

1. Mètodes d'Avaluació

1.1. Anàlisi Cost-Benefici

L'Anàlisi Cost-Benefici és un instrument d'enfocament microeconòmic que consisteix a quantificar, en termes monetaris, els beneficis i els costos que sobre el conjunt de la societat comporta la posada en marxa d'una determinada actuació.

L'objectiu principal és decidir si una futura infraestructura és rendible per al conjunt de la societat, amb el benestar social com a única referència. Per prendre aquesta decisió, primer s'ha de fer la suposició de que el govern actua en benefici de l'interès general de la societat. Dir que el govern persegueix aquesta finalitat significa que l'administració ha de valorar tots els beneficis i costos de tots els partits involucrats i, amb la informació extreta d'aquest estudi, aprovar aquest projecte si s'estima que la societat millora. Amb aquesta simplificació, s'intenta substituir un problema real per un model manejable que reflecteixi l'essencial de la complexa realitat. (de Rus, 2008)

El problema és com valorar tots els beneficis i costos i, en un grau més alt de dificultat, com comparar-los quan els beneficiats i perjudicats són individus amb diferent renda, educació, estat de salut, etc. Es vol mesurar el canvis que es produeixen en el benestar dels individus que componen la societat, tant els efectes observables com els que no. En el cas dels observables, com el número d'habitants que s'han de traslladar per construir un projecte o la quantitat d'energia elèctrica produïda, no són molt útils si no es tradueixen a una unitat de mesura que permeti realitzar una bona comparació amb altres alternatives. Els efectes no observables, com per exemple el benestar o grau de satisfacció dels individus, no es poden quantificar d'una manera clara. En aquest cas, s'intenta estimar quant estan disposats a pagar per a que es realitzi o es rebutgi aquest pla.

El seu gran avantatge és que, al quantificar en termes monetaris tots els efectes positius i negatius, per molt diferents que siguin, es podrien avaluar conjuntament sense cap problema. Els inconvenients més importants són la dificultat de monetitzar alguns efectes importants i la possible desvinculació entre els preus de mercat i el cost social.

L'àmbit més desenvolupat de l'ACB, encara que es pot utilitzar en molts camps per avaluar tot tipus de actuacions, és en les infraestructures de transport. Es pot aplicar ex-ante, per triar els projectes que resulten socialment beneficiosos i prioritzar-los, o bé ex-post, per obtenir informació per valorar futurs projectes.

1.1.1. Etapes de l'ACB

En aquesta anàlisi, encara que cada projecte tingui un context i unes especificacions diferents, hi ha uns passos que s'han de seguir amb independència dels detalls concrets de cada actuació. Les fases són les següents:

1. Objectiu del projecte i valoració de les diferents alternatives.

El punt de partida de tot ACB és una descripció concisa sobre el projecte base i les possibles alternatives a investigar. En aquest primer pas, s'analitzen totes les alternatives i, si n'hi ha masses, amb un mètode multicriteri, es trien les dos o tres més rendibles.

2. Identificació dels beneficis i costos.

A l'hora de fer l'Anàlisi Cost-Benefici, s'ha de tenir en compte un conjunt de factors que es consideren per l'estudi ja que es poden monetitzar i tenen una relació directa amb el projecte que es vol dur a terme. En la Figura 1 es representen els principals factors d'una ACB i quin esquema segueix.

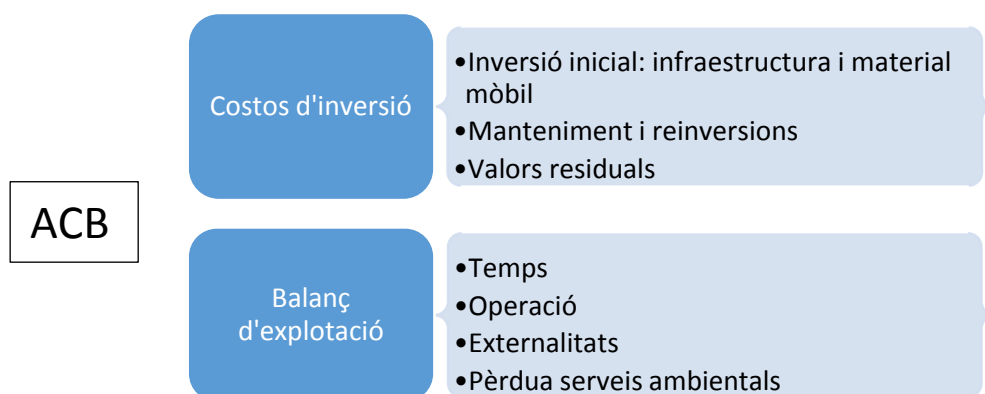


Figura 1. Esquema de l'Anàlisi Cost-Benefici. Font: Col·legi de Camins, Canals i Ports, 2010

En primer lloc, es consideren els costos creats per la nova infraestructura:

- Cost d'inversió. Es té en compte el cost que suposa la construcció i la posada en funcionament de la infraestructura.
- Cost de manteniment i explotació:
 - De conservació (regulars o fixos): gestió d'infraestructures amb un contracte inicial.
 - De rehabilitació (puntuals o extraordinaris): vandalisme, estudis de satisfacció...

Seguidament, es consideren els beneficis:

La reducció de temps de viatge. Es valora el temps que s'estalvien o que perden els usuaris ja sigui per fer un recorregut més curt o per una millora en la congestió. S'ha de tenir en compte l'ocupació del vehicle i la finalitat del viatge, ja sigui treball, oci o estudi. Els usuaris nous poden venir d'un transport públic, del vehicle privat o uns nous usuaris que abans no feien aquell viatge: la demanda induïda, el trànsit generat.

Els viatgers induïts són sobre el 15% del viatges totals de tot tipus que es fan en la situació inicial, és a dir, són els viatgers nous que abans del projecte no feien una ruta competitiva (MCRIT,2010). Els beneficis d'aquest trànsit generat es valoren en la meitat dels recursos estalviats, com a manera senzilla de reflectir l'excedent del consumidor que es produeix.

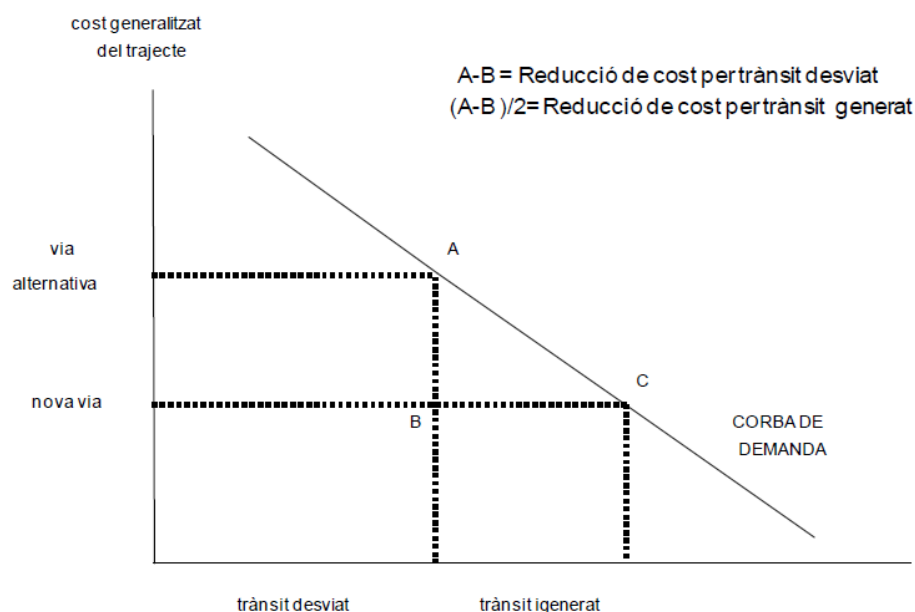


Figura 2. Diferència entre el trànsit desviat (captat d'altres medis de transport) i el trànsit generat (induït). Font: Col·legi de Camins, Canals i Ports, 2010

Com es pot veure en la Figura 2, sota el supòsit d'una demanda lineal, el benefici conjunt de la totalitat dels nous usuaris vindria donat per l'àrea del triangle ABC. Això equivaldria a aplicar a cada viatge induït una reducció de cost equivalent a la meitat de la que es donaria en un viatge captat (Col·legi de Camins, Canals i Ports, 2010).

Per últim s'estudien les externalitats: es té en compte elements que ofereixen un benefici o cost a la societat com, per exemple: reducció de la gravetat i/o nombre d'accidents, reducció contaminació acústica, reducció contaminació lumínica, reducció contaminació de l'aire (CO₂ o altres gasos), reducció contaminació del sòl, etc.

3. Quantificació dels beneficis i costos.

Els costos i beneficis identificats per a cada període considerat en el cicle de vida del projecte es quantifiquen i es valora monetàriament l'efecte que tenen sobre la societat. Per monetitzar tots els factors, s'utilitzen uns paràmetres de costos determinats per les diferents guies d'avaluació. Aquest coeficients ja establerts, si són de caràcter monetari, s'han d'actualitzar amb l'IPC (Índex de Preus de Consum) de l'any en el que la obra s'iniciarà.

4. Actualització i suma dels fluxos.

Els beneficis i costos generats pel projecte que es realitzen no tenen la mateixa valoració del consum present que al consum futur. Això es fa mitjançant l'aplicació d'una taxa de descompte, on quant més anys tinguin uns beneficis, menys importància monetària del flux net tindran.

La taxa de descompte és el càlcul del cost d'oportunitat del capital. Aquesta permet tractar els valors futurs i els valors presents d'un projecte de transport de manera homogènia. Ara bé, no hi ha consens entre els professionals de l'anàlisi de rendibilitat, i és per això que ens trobem davant multiplicitat de valors recomanats per agències i institucions especialitzades.

5. Interpretació de resultats i criteris de decisió.

Aquest resultat final del projecte, és a dir, el valor actual net es pot expressar com:

$$VAN = -I + (p + c)qT, \text{ on } \begin{cases} p: \text{preu} \\ q: \text{usuaris anuals} \\ I: \text{inversió inicial} \\ c: \text{cost unitari manteniment} \\ T: \text{anys de vida útil projecte} \end{cases}$$

Equació 1

L'Equació 1 és en el cas hipotètic de que el tipus d'interès de mercat (i) és zero. Però com que els usuaris anuals (q), el cost unitari de manteniment i explotació (c) no són constants durant la vida d'un projecte i el tipus d'interès (i) sempre és major que zero, l'Equació 1, el cas de **VAN d'anàlisi financer** (VAN_f) es generalitza a:

$$VAN_f = -I + \sum_{t=1}^T \frac{p_t q_t - c_t q_t}{(1+i)^t}$$

Equació 2

En el cas d'Anàlisi Cost-Benefici, on es busca la rendibilitat social d'un projecte, el VAN, Equació 3, s'ha de modificar agregant tots els efectes significatius que es produeixen. D'aquesta manera, el **VAN social** (VAN_s) s'expressa com a:

$$VAN_s = -I + \sum_{t=1}^T \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$$

Equació 3

Les diferències entre el VAN financer (Equació 2) i el VAN social (Equació 3) són:

- Substitució dels ingressos pq pels beneficis socials B , ja que s'han d'incloure tant els beneficis que obtenen els consumidors o altres grups socials directa o indirectament com la quantitat que els consumidors estan disposats a pagar per la realització d'un projecte.
- Els costos socials s'han de valorar al cost social d'oportunitat, que es el que es perd amb construcció, manteniment i operació si un projecte no es realitza.
- En l'actualització de preus no s'utilitza el tipus d'interès del mercat, sinó que s'utilitza la taxa social de descompte, que no sempre coincideixen.

Si el VAN final d'un projecte és positiu, aquest pla serà aconsellable realitzar-lo. I, en cas de comparar diferents alternatives, l'opció amb el VAN més alt serà la més indicada per dur-la a terme. En aquest treball, com s'estudia des del punt de vista de

l'Administració, s'utilitzarà el VAN social (Equació 3) i així poder arribar a una alternativa que sigui més beneficiosa per tota la societat.

A banda del VAN, un altre indicador molt important per a l'estudi de la rendibilitat de futurs projectes és la TIR (Taxa Interna de Rendiment, percentatge), que equival a l'índex o la taxa de descompte que fa que el VAN total del projecte sigui nul. En altres paraules, dona la rendibilitat social que obtindria si es realitzés el projecte i s'ha d'interpretar com el benefici no monetari (estalvi de temps, millorar de comoditat i seguretat, menys contaminació, etc) anual que rep la societat per cada euro invertit. Aquest element, al igual que el VAN, com més gran sigui, més gran serà la rendibilitat social del projecte.

La TIR ofereix un avantatge important de cara a la comparació d'alternatives, ja que és invariant al volum d'inversió i aporta una mesura de rendibilitat relativa del projecte. Però cal tenir en compte que tant el VAN com la TIR es veuen afectat per l'horitzó d'avaluació considerat, cosa que té implicacions en la comparació de projectes.

Per evitar els problemes de càlcul de la TIR, es recomana emprar com a mesura de rendibilitat relativa el ràtio entre el VAN i la inversió ($\text{VAN}/\text{inversió}$), DGIMT (2015). Aquest indicador ens dona una visió molt clara del retorn social obtingut per cada euro invertit al projecte. Tot projecte amb un ràtio $\text{VAN}/\text{Inversió} > 0$, resulta socialment rentable. Tot i així, aquest criteri d'avaluació no s'utilitza molt, ja que la TIR i el VAN ja donen una bona representació de la rendibilitat del projecte.

Per tindre una idea més clara i pràctica d'aquests indicadors, s'han analitzat els números dels futurs projectes de Barcelona. Les inversions en la regió metropolitana de Barcelona en el període de 2011 a 2020 (ATM, 2013), Taula 1, es poden resumir amb que tots tenen una TIR positiva i el VAN varia molt en cada projecte. D'aquesta manera, quan en el Capítol II d'aquest treball s'obtinguin els resultats finals, es podrà comparar amb altres projectes de la mateixa zona i època.

Inversions en la regió metropolitana de Barcelona en el període 2011-2020	TIR (%)	VAN (M€)
AX04 Metro. L3 Zona Universitària - Sant Feliu	1,3%	-376,0
AX05 Metro. L3 Trinitat Nova - Trinitat Vella	8,4%	57,2
AX06 Metro. L4 La Pau - La Sagrera	5,7%	65,6
AX07-AX08 Metro L9/L10 Aeroport / Zona Franca – La Sagrera	3,0%	-726,7
AX09 FGC. L8 Plaça Espanya - Gràcia	8,0%	482,0
AX10 FGC. Terrassa Rambla - Terrassa Nacions Unides	2,2%	-70,9
AX11 FGC. Can Feu - Ca n'Oriac	15,0%	-128,3
AX13 FGC. Cua de maniobres Plaça Catalunya i perllongament Vallès	5,6%	248,1
XT02 T3 Pas per Laureà Miró	4,6%	1,5

Taula 1. Projectes de la Regió de Barcelona entre 2011 i 2020. Font: ATM, 2013

Quan es va escriure la memòria del Pla Director d'Infraestructures del transport públic de la regió metropolitana de Barcelona 2011-2020 al 2013 (ATM, 2013), els projectes estaven en estats on encara no s'havia acabat de construir cap dels projectes (Taula 2), és a dir, les Anàlisis Cost-Benefici de la Taula 1 són a priori, a ex-ante.

Actualment, molts dels projectes anteriors amb el VAN negatiu i una TIR molt baixa, estan ja acabats o a punt de ser-ho. Això implica que en la presa de decisions d'aquestes actuacions, no s'ha tingut en compte aquesta avaluació socioeconòmica i els resultats finals del VAN i TIR bastant dolents. És a dir, al final qui pren la última decisió són els polítics i els resultats tècnics no tenen cap pes en la presa de decisions.

Inversions en la regió metropolitana de Barcelona en el període 2011-2020	Estat d'execució
AX04 Metro. L3 Zona Universitària - Sant Feliu	Estudi informatiu finalitzat
AX05 Metro. L3 Trinitat Nova - Trinitat Vella	Pendent d'estudi informatiu
AX06 Metro. L4 La Pau - La Sagrera	Estudi informatiu finalitzat
AX07-AX08 Metro L9/L10 Aeroport / Zona Franca – La Sagrera	En construcció
AX09 FGC. L8 Plaça Espanya - Gràcia	Iniciat un nou estudi informatiu
AX10 FGC. Terrassa Rambla - Terrassa Nacions Unides	En construcció
AX11 FGC. Can Feu - Ca n'Oriac	En construcció
AX13 FGC. Cua de maniobres Plaça Catalunya i perllongament Vallès	Estudi informatiu en redacció
XT02 T3 Pas per Laureà Miró	en fase d'anàlisi prèvia de traçat

Taula 2. Estat d'execució de les actuacions del PDI 2011-2020. Font: ATM, 2013

6. Anàlisi de sensibilitat.

Convé sotmetre els resultats a una anàlisi de sensibilitat, que consisteix en modificar els paràmetres utilitzats en el model, per exemple el valor atorgat als estalvis de temps, i veure com això afecta a la rendibilitat social del projecte.

D'aquesta manera s'arribarà a comprendre millor els efectes d'algunes variables i hipòtesis utilitzades en l'ACB. També fins a quin punt el resultat és robust segons aquestes eleccions.

7. Comparació del projecte amb les alternatives rellevants.

Després de realitzar un ACB de cada alternativa possible, es diferencien els resultats finals de cada opció i es tria la més rentable.

1.2. Anàlisi financer

L'anàlisi financer (AF) té per objectiu determinar el rendiment econòmic dels recursos financers dedicats a un projecte, contemplant les despeses i ingressos monetaris reals en el flux de caixa del mateix. Aquesta avaluació es realitza des de l'òptica de l'agent que realitza la inversió i busca determinar fins a quin punt els ingressos generats pel projecte són capaços de cobrir els costos que genera dur-lo a terme.

En comparació amb l'ACB, l'AF es modifiquen quatre elements clau: la comptabilització de costos i beneficis passa de considerar els fluxos econòmics que millorin el benestar al conjunt de la societat, a considerar tots els fluxos monetaris reals entre agents. El segon canvi és que es passa de preus ombra amb l'ACB on es corregeix les distorsions del mercat, a preus reals de mercat (AF). En tercer lloc, l'AF no integra les externalitats que impliquen costos o beneficis socials derivats del projecte. Per últim, a l'AF es considera una taxa de descompte per reflectir el cost d'oportunitat del capital, ja que a l'invertir el capital en un projecte es renuncia fer-ho en un altre. En canvi, l'ACB empra la taxa de descompte social per reflectir el punt de vista social que no necessàriament ha de coincidir amb el tipus d'interès de mercat (DGIMT, 2015)

CRITERIS	AF	ACB
Òptica de l'avaluació	Agent concret	Conjunt societat
Fluxos considerats	Monetaris reals	Canvi benestar societat No transferències
Valoració costos/beneficis	Preus mercat	Preus ombra
Externalitats	No	Si
Taxa de descompte	Cost oportunitat capital	Preferències temporals socials

Taula 3. Resum diferències entre AF i ACB. Font: DGIMT, 2015

Ja que la rendibilitat social és el component principal de la presa de decisions per part del gestor públic, en el nostre cas aplicat no utilitzarem aquest mètode.

1.3. Altres tipus d'anàlisi objectiu

Existeixen altres modalitats d'avaluació econòmica tant objectives com ara l'ACB o l'AF.

L'anàlisi cost-efectivitat (ACE) és un mètode per a la comparació de programes alternatius i, per tant, no serveix per determinar el valor social net d'una determinada actuació. En aquesta anàlisi, els costos es mesuren en unitats monetàries i els resultats en unitats no monetàries equivalents per a totes les alternatives. L'objectiu final és l'obtenció d'una proporció cost-efectivitat que expressi el cost per unitat de resultats associat a cada programa -per exemple, en l'àmbit sanitari, cost per any de vida guanyat. Un dels seus avantatges és que permet comparar programes molt diferents sempre que els resultats s'expressin en la mateixa unitat.

L'anàlisi de minimització de costos (AMC), que en principi no compleix els dos requisits d'una avaluació econòmica, és un cas particular de l'ACE en què els resultats o beneficis de les alternatives que es consideren són essencialment idèntics. No obstant això, és gairebé impossible trobar dos programes els efectes dels quals siguin exactament els mateixos, encara que el supòsit que els resultats són essencialment iguals pot constituir una aproximació raonable en determinades ocasions. Quan és aquest el cas, l'AMC seria la tècnica apropiada i la decisió únicament té en compte les diferències en els costos dels programes comparats.

L'anàlisi cost-conseqüència (ACC) satisfà els dos requisits exigits a un exercici d'avaluació econòmica en la mesura que estudia tant els costos com els resultats dels programes i compara com a mínim dues alternatives. Tanmateix, el resultat final de l'ACC no és una mesura del benefici net dels programes objecte de comparació (com en l'ACB) ni una proporció cost-efectivitat (com en l'ACE). En aquest tipus d'estudis els costos i les conseqüències de les diferents alternatives es presenten de manera desagregada, deixant al destinatari de l'anàlisi l'assignació de ponderacions als diferents resultats dels programes i la decisió relativa a la utilització d'una regla d'agregació de tals efectes.

Aquestes anàlisis tenen desavantatges que fan que no siguin tant útils per l'estudi de la rendibilitat d'un projecte. En la Taula 4 es resumeixen els diferents tipus d'anàlisi i els seus principals desavantatges.

Tipus d'anàlisi	Resultats a comparar	Desavantatges
Cost-efectivitat, ACE (unitats naturals)	Iguals en naturalesa però en grau diferent	No serveix per determinar el valor social net d'una determinada actuació i no es pot interpretar les proporcions a l'hora de decidir com assignar recursos
Cost-Conseqüències, ACC (unitats naturals, cas intermedi a una ACE)	Poden ser diferents en naturalesa i grau	Els costos i les conseqüències de les diferents alternatives es presenten de manera desagregada, deixant al destinatari de l'anàlisi l'assignació de ponderacions als diferents resultats dels programes.
Cost minimització, ACM (unitats naturals, cas particular d'una ACE)	Iguals en naturalesa i grau	Els efectes han de ser els mateixos per a totes les alternatives.
Cost-Benefici ACB / Financer AF (unitats monetàries)	Poden ser diferents en naturalesa i grau	Dificultat en monetitzar alguns efectes del projecte.

Taula 4. Principals característiques dels tipus d'anàlisi per a fer una avaluació econòmica. Font: Ivàlua, 2009

Encara que totes les tècniques d'avaluació econòmica aporten informació d'interès, és recomanable optar per aquelles que permeten un major grau de comparabilitat dels resultats i una interpretació més fàcil dels mateixos. Per això resulta aconsellable dur a terme una Anàlisi Cost-Benefici (ACB) quan sigui factible valorar tots els resultats del programa en unitats monetàries o una anàlisi cost-efectivitat (ACE) que utilitzi una mesura el més àmplia possible dels resultats.

1.4. Anàlisi multicriteri

L'anàlisi Multicriteri (MCDA – Multi-criteri Decision Analysis) és un mètode formal, no monetari, estructurat i transparent que s'utilitza quan es treballa amb aspectes intangibles difícilment quantificables des d'un punt de vista econòmic. En cas d'un projecte de gran envergadura, també es pot utilitzar el MCDA per a complementar i assessorar la presa de decisió d'un projecte. Es tracta d'una anàlisi objectiu que ajuda als enginyers a entendre millor els problemes d'un projecte i a assegurar que tots els criteris i factors s'han tingut en compte. Aquest consisteix en combinar elements heterogenis a un sistema homogeni a través d'indicadors i ponderacions

Un conjunt d'experts decideixen els indicadors i el pes de cadascun d'aquests que es tindran en compte en l'anàlisi i creen la Matriu Multicriteri, Taula 5, on s'estudien totes les alternatives possibles. La complexitat de l'anàlisi depèn dels experts, ja que pot determinar els nivells de detall a agafar. Seguidament, s'estudien tots els indicadors en cada cas hipotètic d'alternativa i es puntua. Finalment, l'opció òptima és la que té més nota.

CRITERI	VALOR	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		Nota	Valor	Nota	Valor	Nota	Valor
ECONÒMICS	20,0		11,5		5,7		9,8
Pressupost	6,0	10,0	6,0	0,0	0,0	5,0	3,0
Rendibilitat explotador	6,0	7,1	4,3	7,7	4,6	9,0	5,4
Taxa de subvenció	8,0	1,5	1,2	1,4	1,1	1,7	1,4
SOCIALS	35,0		23,8		27,0		8,3
VAN SE	12,0	8,6	10,3	5,0	6,0	4,0	4,8
Descongestió	12,0	5,0	6,0	10,0	12,0	0,0	0,0
Impacte acústic	7,0	5,0	3,5	10,0	7,0	5,0	3,5
CO ₂	4,0	10,0	4,0	5,0	2,0	0,0	0,0
FUNCIONALS	20,0		9,0		15,5		6,0
Qualitat d'explotació	9,0	10,0	9,0	5,0	4,5	5,0	4,5
Interacció amb usuaris	8,0	0,0	0,0	10,0	8,0	0,0	0,0
Impacte de les obres	3,0	0,0	0,0	10,0	3,0	5,0	1,5
TERRITORIALS	25,0		11,0		16,5		10,0
Integració urbana	8,0	0,0	0,0	10,0	8,0	5,0	4,0
Impacte ambiental	4,0	5,0	2,0	0,0	0,0	10,0	4,0
Demanda captada	9,0	10,0	9,0	5,0	4,5	0,0	0,0
Adequació al PLU	4,0	0,0	0,0	10,0	4,0	5,0	2,0
TOTAL	100,0		55,3		64,7		34,1

Taula 5. Exemple de gràfic d'una Matriu Multicriteri per l'extensió de la L7 del tramvia de París. Font: Ripoll, F., 2014

No obstant, existeixen mètodes específics com el AHP (Procés Analític Jeràrquic), entre molts d'altres. Aquesta metodologia multicriteri és la de major aplicació pràctica i involucra tots els aspectes del procés de presa de decisions: modela el problema a través d'una estructura jerarquitzada, utilitza una escala de prioritats basada en la preferència d'un element sobre un altre, sintetitza els judicis emesos i entrega un ranking o ordenament de les alternatives d'acord als pesos obtinguts (prioritats). Té en compte el pensament analític, amb tres principis bàsics: construcció de jerarquies, establiment de prioritats i consistència lògica.

2. Guies d'avaluació

Els models explicats en l'anterior apartat es veuen plasmats en diferents manuals per a que l'estudi d'una infraestructura sigui més objectiva. Cada país o regió té una o més guies amb les que els enginyers i tècnics poden utilitzar per veure si un projecte serà beneficiós per a la societat.

L'objectiu és impulsar que les avaluacions realitzades per les administracions públiques utilitzin mètodes i criteris comuns. D'aquesta manera, es produeixin resultats que siguin directament comparables i estiguin suficientment integrats en els processos de presa de decisió.

A Catalunya, els manuals més recents són el MAIT (2010), fet pel Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Catalunya, i el SAIT (2015), una recopilació del MAIT on s'hi adjunten més associacions. També s'analitzarà el MIVES (2009), una guia no monetària però on la subjectivitat dels resultats finals és molt baixa.

Pels coeficients monetaris de les guies d'avaluació, s'actualitzaran amb la variació de l'IPC, Índex de Preus de Consum, entre l'any de publicació de la guia i l'any actual, 2017 (INE).

Per a la guia MAIT (2010), l'augment dels preus és del 10,04%, com es pot observar en la Taula 6.

Any	IPC
2010	92,227
2017	101,487
Percentatge de variació	110,04%

Taula 6. Variació del IPC entre els anys 2010 i 2017. Font: Elaboració pròpia a partir d'INE

En el cas de la guia SAIT, és de l'octubre del 2015. Com que actualment estem en una època de baixa inflació i de crisis, s'ha considerant que no valia la pena actualitzar-los i s'han utilitzat els mateixos paràmetres que té en compte el manual.

Per últim, s'ampliarà fronteres i així es podrà analitzar els manuals d'altres països i zones. Això serà útil, no pel nostre cas pràctic, ja que quant més local sigui un manual i els seus coeficients millor; sinó que per tenir una idea més ampla i clara sobre què ha de portar inclòs un manual per a ser totalment objectiu i tenir uns resultats finals que es complexin mínimament.

2.1. MAIT

El Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Catalunya, a través de la seva Comissió de Transports, va impulsar l'elaboració d'una guia d'avaluació d'infraestructures de transport que integra els mètodes cost-benefici, impactes macroeconòmics i efectes ambientals i territorials, per a ser aplicada al cas d'inversions proposades o realitzades a Catalunya.

La guia consisteix en tres etapes principals: Anàlisi Cost-Benefici (quantitatiu), desenvolupament econòmic regional i impactes no monetaris. La segona etapa consisteix en bifurcar el desenvolupament en llarg termini (PIB, habitants, etc) i curt termini (llocs de treball, VAB, % retintut comarcament, etc). Els impactes no monetaris s'estudien a partir d'una anàlisi Multicriteri que es divideix, principalment en aspectes socials, territorials i mediambientals.

Finalment, amb els resultats dels tres apartats anteriors es fa una avaluació global i es decideix quina alternativa de les estudiades és la més òptima.

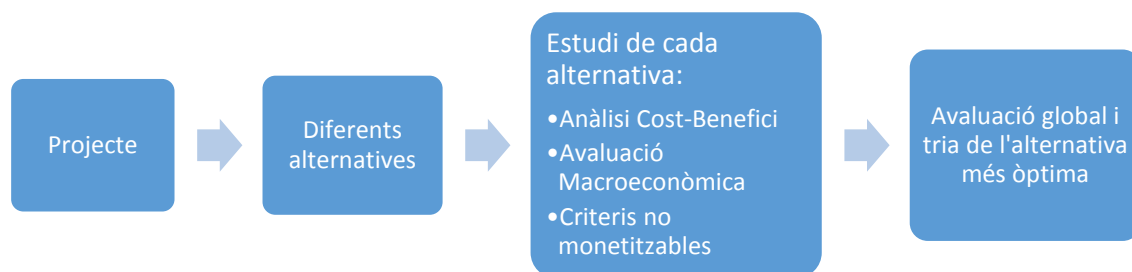


Figura 3. Esquema a seguir del MAIT. Font: Elaboració pròpia

En aquest treball només ens centrem en l'Anàlisi Cost-Benefici del MAIT sense entrar en l'avaluació macroeconòmica ni el multicriteri. Això es degut a que aquests dos últims mètodes d'anàlisi no podríem comparar-los amb els altres manuals SAIT i MIVES, ja que aquests no es calculen.

Paràmetres significatius pel cas aplicat de l'ACB

Els indicadors rellevants que s'utilitzaran per l'avaluació del cas pràctic (*Capítol II*) del MAIT són (Col·legi de Camins, Canals i Ports, 2010):

- Taxa de descompte (*explicació en l'apartat 1.1.1.Etapes de l'ACB*): **6%**
- Període d'avaluació de **30 anys**
- Si no es disposa d'informació suficient sobre els motius de viatge dels usuaris, s'utilitza com a valor mitjà del temps **11,02 €/hora-persona** i com a ocupació mitjana dels vehicles **1,30 ocupants/vehicle**. Els valors que s'apliquen, si es té la informació necessària del tipus d'usuari, són els de la Taula 7.

Motiu del viatge	Valor del temps (€/hora-persona)	Valor ocupació dels vehicles (ocupants/vehicle)
Negoci i gestions	16,70 ¹	1,10
Treball i estudis	11,82 ²	1,21
Compres	10,10 ²	1,72
Lleure	8,04 ²	1,72

Taula 7. Coeficients del valor del temps i d'ocupació dels vehicles segons el motiu del viatge d l'usuari.
Font: Elaboració pròpia a partir del MAIT, IDESCAT¹ i INE²

- Les emissions que s'estudien són: CO₂, NO_x i PM₁₀. La Taula 8 ensenya els costos de cada gas, i a la Taula 9 s'analitza amb més detall el cost del CO₂ en els proper anys pels problemes creixents que comporta el canvi climàtic. L'estudi realitzat per CASES (2007), analitza el cost del CO₂ fins l'any 2030, fent que el preu d'aquest no sigui constant amb el temps (Taula 9, es pren l'estimació central de l'estudi). En el nostre cas, la vida útil de la infraestructura és fins al 2048. És per això que entre el 2030 i 2048, s'agafa com a preu constant els 41€/tona del 2030, ja que el futur del CO₂ no està molt clar.

	Emissions (g/km) per via urbana, a 50 km/h		Preu (€/tona)
	Vehicles lleugers	Vehicles pesants	
CO ₂	134,63	559,25	No és constant
NO _x	0,25	1,78	3.183,47 ²
PM ₁₀	0,03	0,14	19.095,32 ²

Taula 8. Principals indicadors d'emissions de gasos per una via urbana (50 km/h). Font: Elaboració pròpia a partir del MAIT i INE²

Any	Estimació baixa	Estimació central	Estimació alta
2000	4	23	53
2010	5	28	65
2020	6	33	88
2030	8	41	110

Taula 9. Cost (€/tona) del les emissions de CO₂ amb any 2030 com horitzó.
Font: CASES, 2007

¹ Valor actualitzat: 15,56 €/hora-persona al 2010. La guia indica que el valor del temps de negocis i gestions s'ha d'actualitzar a partir de l'enquesta de costos salarials d'IDECAT.

² Valors actualitzats amb l'IPC: increment del 10,04% des del 2010, 2. *Guies d'avaluació*.

- El consum de combustible (g/km) a 50 km/h de velocitat mitjana de circulació és 45,67 per vehicles lleugers i 178,19 per vehicles pesants.
- El cost del soroll és el de la Taula 10 amb els preus actualitzats al 2017.

Tipus de vehicle	Cost (€/1000·vehicle·km)
Vehicles lleugers	5 ²
Vehicles pesants	11,22 ²

Taula 10. Preu de la contaminació acústica. Font: Elaboració pròpia a partir del MAIT i INE²

Amb tots aquests coeficients ja definits, el MAIT calcula els dos indicadors VAN i TIR per analitzar la rendibilitat socioeconòmica del projecte. Aquest manual no té en compte la rendibilitat relativa, és a dir, la divisió entre el VAN i la inversió (explicació teòrica en l'apartat 1.1.1. *Etapas de l'ACB*).

A part, també estableix uns criteris d'avaluació per examinar els resultats del VAN i la TIR de l'actuació (Taula 11). Es considera que un projecte té una rendibilitat social molt bona si la TIR social dobla la taxa social de descompte, bona si la TIR social supera la taxa de descompte, regular si la TIR és inferior a la taxa de descompte però el VAN és positiu i dolenta si el VAN és negatiu (Col·legi de Camins, Canals i Ports, 2010).

Molt bona	Bona	Regular	Dolenta
$TIR > 2 \cdot \text{taxa de descompte}$	$TIR > \text{taxa de descompte}$	$TIR < \text{taxa de descompte}$ $VAN > 0$	$VAN < 0$

Taula 11. Criteris d'avaluació del manual MAIT. Font: Col·legi de Camins, Canals i Ports, 2010

2.2. SAIT

El Sistema d'Avaluació d'Inversions en Transport (SAIT) és una metodologia d'Anàlisi Cost-Benefici per a les avaluacions realitzades sobre les infraestructures viàries i ferroviàries de la Generalitat de Catalunya. La seva aplicació es va aprovar al 2015 i s'ha incorporat com a una Pràctica Innovadora que formarà part del Banc de Pràctiques d'Innovació (BPI) del Departament de Territori i Sostenibilitat.

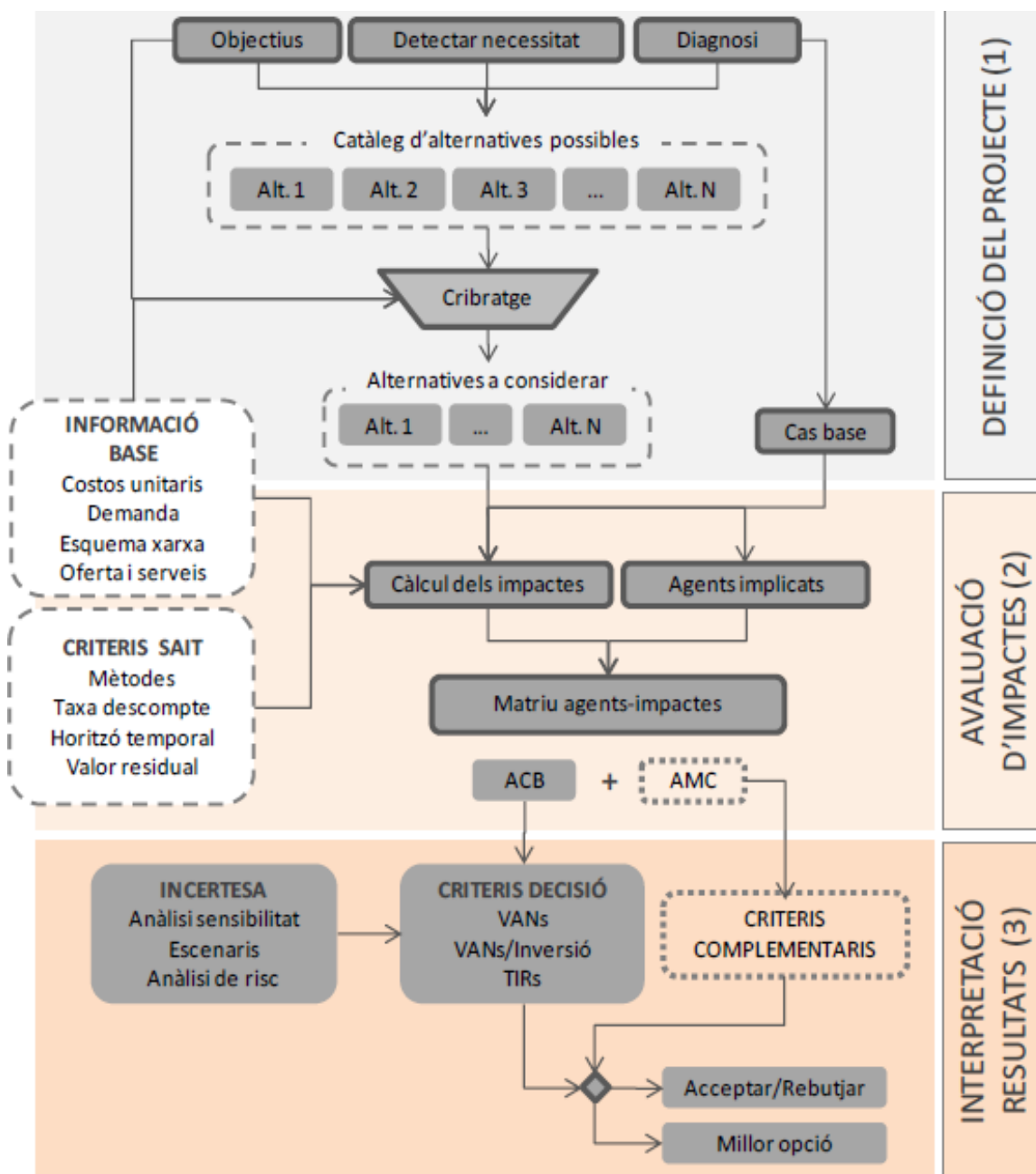


Figura 4. Esquema de les diferents etapes del SAIT. Font: DGIMT, 2015

L'objectiu del SAIT és establir-se com un sistema de valoració comú, eficient i de qualitat que garanteixi una correcta utilització dels recursos econòmics disponibles. Així com contribuir a impulsar un nou model d'avaluació de les infraestructures de transport terrestre garantint una homogeneïtat de criteris sobre la manera de realitzar les avaluacions de rendibilitat socioeconòmica de determinades inversions en infraestructures de transport terrestre. El procés d'aquesta guia, com es veu en la Figura 4, es defineixen tres etapes principals: definició del projecte, avaluació d'impactes i interpretació de resultats.

Anteriorment al SAIT, cada organisme tenia la seva metodologia d'estudi, però amb aquest manual, l'ATM, el Col·legi de Camins, Canals i Ports, el Departament de Territori i Sostenibilitat i altres organismes utilitzen els mateixos passos i paràmetres per l'anàlisi d'un projecte. Gràcies a això, els resultats de totes les avaluacions seran comparables.

El DGIMT (2015) adjunta un Excel d'ajuda per calcular tots els factors que influeixen al projecte. Aquest Excel és una bona eina per treballar l'Anàlisi Cost-Benefici, però, com ja s'anirà veient en el treball, té alguna incoherència.

Paràmetres significatius pel cas aplicat de l'ACB

Els indicadors rellevants que s'utilitzaran per l'avaluació del cas pràctic (*Capítol II*) del SAIT són (DGIMT, 2015):

- Taxa de descompte (*explicació en l'apartat 1.1.1.Etapes de l'ACB*): **3%**
- Període d'avaluació de **30 anys**
- Coeficient de preus ombra de 0,7 per inversions en infraestructura, manteniment, personal i adquisició de matèria mòbil, d'acord amb la metodologia D'ADIF, Taula 12. S'ha de fer una correcció a la valoració dels costos i beneficis per tal de reflectir el seu cost d'oportunitat social, passant de preus de mercat (Anàlisi Financer) a preus ombra (Anàlisi Cost-Benefici) per corregir les distorsions dels mercats.

Preus mercat i preus ombra	Ràtio
Costos de manteniment de la infraestructura	0,70
Costos de gestió de tràfic i seguretat en la via i instal·lacions	0,70
Costos generals i d'estructura	0,88

Taula 12. Ràtio entre preus de mercat i preus ombra. Font: ADIF, 2013

- Si no es disposa d'informació suficient sobre els motius de viatge dels usuaris, s'utilitza com a valor mitjà del temps **9 €/hora-persona** i com a ocupació mitjana dels vehicles **1,21 ocupants/vehicle**. Els valors que s'apliquen si es té la informació necessària del tipus d'usuari són els de la Taula 13.

Motiu del viatge	Valor del temps (€/hora-persona)
Negoci i gestions	13,36
Treball i estudis	9,22
Compres	7,89
Lleure	6,28

Taula 13. Paràmetres del valor del temps segons el motiu del viatge d l'usuari. Font: Elaboració pròpia a partir del SAIT

- La demanda que s'ha d'introduir és la mitja dels 30 anys de la vida de la infraestructura. Això vol dir que, segons el DGIMT (2015), la demanda no varia durant tota la vida útil del projecte o que, si es fa per separat un estudi de demanda, s'introdueixi el valor mitjà per tots els anys, cosa que no serà veritat, ja que no hi haurà el mateix número d'usuaris el primer any que l'últim.
- Les emissions que s'estudien són: CO₂, NO_x i PM₁₀. La Taula 14 mostra els costos de cada gas, amb valor constant d'emissions durant els 30 anys de vida útil.

Gasos	Emissions (g/km) per via urbana, a 50 km/h		Preu (€/tona)
	Vehicles lleugers	Vehicles pesants	
CO ₂	134,63	559,25	37
NO _x	0,25	1,78	4.964
PM ₁₀	0,03	0,14	14.429

Taula 14. Principals indicadors d'emissions de gasos per una via urbana (50 km/h). Font: Elaboració pròpia a partir del SAIT i INE²

- El consum de combustible (g/km) a 50 km/h de velocitat mitjana de circulació és 50,18 per vehicles lleugers i 161,8 per vehicles pesants (DGIMT, 2015).
- El cost del soroll és el de la Taula 15.

	Cost (€ / 1000·km·vehicle)
Vehicles lleugers	8,8
Vehicles pesants	20,0

Taula 15. Preu de la contaminació acústica. Font: Elaboració pròpia a partir del SAIT

Finalment, s'introdueixen tots els coeficients i paràmetres obtinguts per l'estudi del projecte, a l'Excel d'ajuda (DGIMT, 2015) on s'analitza l'àmbit d'actuació i es tria el model que més s'adapti al projecte. Aquests models s'anomenen matriu agent-impacte

segons el tipus d'actuació i serveixen per particularitzar els impactes per agents i així afegir cert grau de complexitat a l'anàlisi. Els models es divideixen en:

- Noves carreteres, condicionaments o desdoblaments
- Variant
- Millora local d'una carretera
- Nova línia de ferrocarril, perllongament o desdoblament
- Nova estació de ferrocarril
- Nova línia d'alta velocitat
- Nova estació d'alta velocitat

En el cas aplicat (Capítol II), es treballarà amb “Nova línia de ferrocarril, perllongament o desdoblament”. Es per això que en l'apartat teòric només en centrarem a definir les característiques d'aquest model en concret.

Les noves línies es plantegen com a connexió de punts de la xarxa ferroviària i l'objectiu principal és reduir el temps de desplaçament entre aquests punts. El cas base de referència per a l'avaluació és la situació actual aplicant l'evolució natural de la demanda i deteriorament de la infraestructura.

Els agents a considerar per aquest tipus d'actuacions (DGIMT, 2015) són l'Administració pública, constructores i enginyeries, els operadors de serveis de transport (segons els operadors i serveis afectats), mercaderies per carretera (si la captació del vehicle privat pot ser significativa) i per ferrocarril (si les ambdós tràfics conviuen en la mateixa línia). A més, també cal considerar el conjunt d'usuaris de la xarxa de transport afectada (tant de la xarxa viària com la ferroviària). En aquest cas resultarà especialment important considerar el transvasament modal entre vehicle privat i els serveis ferroviaris, així com els possibles transvasaments entre els mateixos serveis de transport públic. En relació als usuaris resulta rellevant per l'Administració disposar del detall per separat dels beneficis i costos experimentats pels usuaris de la línia existent, els de la nova línia i tant els captats del vehicle privat com els del transport públic.

D'aquesta manera, com s'observa a la Figura 5, la matriu agents-impactes per al tipus d'actuació de “Nova línia de ferrocarril, perllongament o desdoblament” té les característiques anomenades anteriorment.

	Cel·la activa
	Cel·la possible activa
	Incloure AMC
	Cel·la desactivada

Taula 16. Llegendes de cel·les de la matriu agents-impactes. Font: DGIMT, 2015

Per acabar, s'ha de ressaltar que l'Excel d'ajuda acaba donant, com a resultat final, el VANs (VAN social), la TIR i el ràtio VAN total / inversió (explicació teòrica en l'apartat 1.1.1.Etapes de l'ACB).

Com a criteri d'avaluació, el manual no té cap exigència pels indicadors, però diu que per a que un projecte sigui rendible per a la societat, el VAN i la rendibilitat relativa (VAN/inversió) han de ser majors de zero. També indica que el ràtio Beneficis/Cost ha de ser positiu.

			AGENTS																																					
			Administració	Contractistes						Operadors										Asseguradores	Usuaris															No usuaris (societat)				
				Infraestructura	Enginy./Consult.	Vehicles	Energia	Equips i telecos	Concessionaris	Taxi	Bus urbà	Bus interurb.	Tramvia	Metro	Rodalies	FGC	Mitja dist.	Llarga dist.	Avió		Mercad. carret.	Mercad. ferroc.	Mercad.avió	Turismes	Motos	Bicicleta	Vianants	Taxi	Bus urba	Bus interurb.	Tramvia	Metro	Rod./FGC	Mitja dist.	Llarga dist.		Avió	Mercad. carret.	Mercad. ferroc.	Mercad.avió
Actius	Invers.	Planificació	1_1	1_2	1_3	1_4	1_5	1_6	1_7	1_8	1_9	1_10	1_11	1_12	1_13	1_14	1_15	1_16	1_17	1_18	1_19	1_20	1_21	1_22	1_23	1_24	1_25	1_26	1_27	1_28	1_29	1_30	1_31	1_32	1_33	1_34	1_35	1_36	1_37	1_38
		Obra civil	2_1	2_2	2_3	2_4	2_5	2_6	2_7	2_8	2_9	2_10	2_11	2_12	2_13	2_14	2_15	2_16	2_17	2_18	2_19	2_20	2_21	2_22	2_23	2_24	2_25	2_26	2_27	2_28	2_29	2_30	2_31	2_32	2_33	2_34	2_35	2_36	2_37	2_38
		Material mòbil	3_1	3_2	3_3	3_4	3_5	3_6	3_7	3_8	3_9	3_10	3_11	3_12	3_13	3_14	3_15	3_16	3_17	3_18	3_19	3_20	3_21	3_22	3_23	3_24	3_25	3_26	3_27	3_28	3_29	3_30	3_31	3_32	3_33	3_34	3_35	3_36	3_37	3_38
		Expropiacions	4_1	4_2	4_3	4_4	4_5	4_6	4_7	4_8	4_9	4_10	4_11	4_12	4_13	4_14	4_15	4_16	4_17	4_18	4_19	4_20	4_21	4_22	4_23	4_24	4_25	4_26	4_27	4_28	4_29	4_30	4_31	4_32	4_33	4_34	4_35	4_36	4_37	4_38
	Manteniment Infr.	5_1	5_2	5_3	5_4	5_5	5_6	5_7	5_8	5_9	5_10	5_11	5_12	5_13	5_14	5_15	5_16	5_17	5_18	5_19	5_20	5_21	5_22	5_23	5_24	5_25	5_26	5_27	5_28	5_29	5_30	5_31	5_32	5_33	5_34	5_35	5_36	5_37	5_38	
	Manteniment Veh.	6_1	6_2	6_3	6_4	6_5	6_6	6_7	6_8	6_9	6_10	6_11	6_12	6_13	6_14	6_15	6_16	6_17	6_18	6_19	6_20	6_21	6_22	6_23	6_24	6_25	6_26	6_27	6_28	6_29	6_30	6_31	6_32	6_33	6_34	6_35	6_36	6_37	6_38	
Operativa	Direct.	Oper.pers.	7_1	7_2	7_3	7_4	7_5	7_6	7_7	7_8	7_9	7_10	7_11	7_12	7_13	7_14	7_15	7_16	7_17	7_18	7_19	7_20	7_21	7_22	7_23	7_24	7_25	7_26	7_27	7_28	7_29	7_30	7_31	7_32	7_33	7_34	7_35	7_36	7_37	7_38
		Oper.veh.	8_1	8_2	8_3	8_4	8_5	8_6	8_7	8_8	8_9	8_10	8_11	8_12	8_13	8_14	8_15	8_16	8_17	8_18	8_19	8_20	8_21	8_22	8_23	8_24	8_25	8_26	8_27	8_28	8_29	8_30	8_31	8_32	8_33	8_34	8_35	8_36	8_37	8_38
		Oper.equip.	9_1	9_2	9_3	9_4	9_5	9_6	9_7	9_8	9_9	9_10	9_11	9_12	9_13	9_14	9_15	9_16	9_17	9_18	9_19	9_20	9_21	9_22	9_23	9_24	9_25	9_26	9_27	9_28	9_29	9_30	9_31	9_32	9_33	9_34	9_35	9_36	9_37	9_38
		Cànon	10_1	10_2	10_3	10_4	10_5	10_6	10_7	10_8	10_9	10_10	10_11	10_12	10_13	10_14	10_15	10_16	10_17	10_18	10_19	10_20	10_21	10_22	10_23	10_24	10_25	10_26	10_27	10_28	10_29	10_30	10_31	10_32	10_33	10_34	10_35	10_36	10_37	10_38
	Ind.	Subvenc.	11_1	11_2	11_3	11_4	11_5	11_6	11_7	11_8	11_9	11_10	11_11	11_12	11_13	11_14	11_15	11_16	11_17	11_18	11_19	11_20	11_21	11_22	11_23	11_24	11_25	11_26	11_27	11_28	11_29	11_30	11_31	11_32	11_33	11_34	11_35	11_36	11_37	11_38
		Impostos	12_1	12_2	12_3	12_4	12_5	12_6	12_7	12_8	12_9	12_10	12_11	12_12	12_13	12_14	12_15	12_16	12_17	12_18	12_19	12_20	12_21	12_22	12_23	12_24	12_25	12_26	12_27	12_28	12_29	12_30	12_31	12_32	12_33	12_34	12_35	12_36	12_37	12_38
Overheads	13_1	13_2	13_3	13_4	13_5	13_6	13_7	13_8	13_9	13_10	13_11	13_12	13_13	13_14	13_15	13_16	13_17	13_18	13_19	13_20	13_21	13_22	13_23	13_24	13_25	13_26	13_27	13_28	13_29	13_30	13_31	13_32	13_33	13_34	13_35	13_36	13_37	13_38		
Usuaris	Temps		14_1	14_2	14_3	14_4	14_5	14_6	14_7	14_8	14_9	14_10	14_11	14_12	14_13	14_14	14_15	14_16	14_17	14_18	14_19	14_20	14_21	14_22	14_23	14_24	14_25	14_26	14_27	14_28	14_29	14_30	14_31	14_32	14_33	14_34	14_35	14_36	14_37	14_38
	Tarifes		15_1	15_2	15_3	15_4	15_5	15_6	15_7	15_8	15_9	15_10	15_11	15_12	15_13	15_14	15_15	15_16	15_17	15_18	15_19	15_20	15_21	15_22	15_23	15_24	15_25	15_26	15_27	15_28	15_29	15_30	15_31	15_32	15_33	15_34	15_35	15_36	15_37	15_38
	Impostos		16_1	16_2	16_3	16_4	16_5	16_6	16_7	16_8	16_9	16_10	16_11	16_12	16_13	16_14	16_15	16_16	16_17	16_18	16_19	16_20	16_21	16_22	16_23	16_24	16_25	16_26	16_27	16_28	16_29	16_30	16_31	16_32	16_33	16_34	16_35	16_36	16_37	16_38
	Cost.op.veh		17_1	17_2	17_3	17_4	17_5	17_6	17_7	17_8	17_9	17_10	17_11	17_12	17_13	17_14	17_15	17_16	17_17	17_18	17_19	17_20	17_21	17_22	17_23	17_24	17_25	17_26	17_27	17_28	17_29	17_30	17_31	17_32	17_33	17_34	17_35	17_36	17_37	17_38
	Fiabilitat		18_1	18_2	18_3	18_4	18_5	18_6	18_7	18_8	18_9	18_10	18_11	18_12	18_13	18_14	18_15	18_16	18_17	18_18	18_19	18_20	18_21	18_22	18_23	18_24	18_25	18_26	18_27	18_28	18_29	18_30	18_31	18_32	18_33	18_34	18_35	18_36	18_37	18_38
	Confort		19_1	19_2	19_3	19_4	19_5	19_6	19_7	19_8	19_9	19_10	19_11	19_12	19_13	19_14	19_15	19_16	19_17	19_18	19_19	19_20	19_21	19_22	19_23	19_24	19_25	19_26	19_27	19_28	19_29	19_30	19_31	19_32	19_33	19_34	19_35	19_36	19_37	19_38
Externalitats	Pol·lució		20_1	20_2	20_3	20_4	20_5	20_6	20_7	20_8	20_9	20_10	20_11	20_12	20_13	20_14	20_15	20_16	20_17	20_18	20_19	20_20	20_21	20_22	20_23	20_24	20_25	20_26	20_27	20_28	20_29	20_30	20_31	20_32	20_33	20_34	20_35	20_36	20_37	20_38
	Canvi climàtic		21_1	21_2	21_3	21_4	21_5	21_6	21_7	21_8	21_9	21_10	21_11	21_12	21_13	21_14	21_15	21_16	21_17	21_18	21_19	21_20	21_21	21_22	21_23	21_24	21_25	21_26	21_27	21_28	21_29	21_30	21_31	21_32	21_33	21_34	21_35	21_36	21_37	21_38
	Soroll		22_1	22_2	22_3	22_4	22_5	22_6	22_7	22_8	22_9	22_10	22_11	22_12	22_13	22_14	22_15	22_16	22_17	22_18	22_19	22_20	22_21	22_22	22_23	22_24	22_25	22_26	22_27	22_28	22_29	22_30	22_31	22_32	22_33	22_34	22_35	22_36	22_37	22_38
	Vibracions		23_1	23_2	23_3	23_4	23_5	23_6	23_7	23_8	23_9	23_10	23_11	23_12	23_13	23_14	23_15	23_16	23_17	23_18	23_19	23_20	23_21	23_22	23_23	23_24	23_25	23_26	23_27	23_28	23_29	23_30	23_31	23_32	23_33	23_34	23_35	23_36	23_37	23_38
	Accidents		24_1	24_2	24_3	24_4	24_5	24_6	24_7	24_8	24_9	24_10	24_11	24_12	24_13	24_14	24_15	24_16	24_17	24_18	24_19	24_20	24_21	24_22	24_23	24_24	24_25	24_26	24_27	24_28	24_29	24_30	24_31	24_32	24_33	24_34	24_35	24_36	24_37	24_38
	Paisatge		25_1	25_2	25_3	25_4	25_5	25_6	25_7	25_8	25_9	25_10	25_11	25_12	25_13	25_14	25_15	25_16	25_17	25_18	25_19	25_20	25_21	25_22	25_23	25_24	25_25	25_26	25_27	25_28	25_29	25_30	25_31	25_32	25_33	25_34	25_35	25_36	25_37	25_38
	Efecte barrera		26_1	26_2	26_3	26_4	26_5	26_6	26_7	26_8	26_9	26_10	26_11	26_12	26_13	26_14	26_15	26_16	26_17	26_18	26_19	26_20	26_21	26_22	26_23	26_24	26_25	26_26	26_27	26_28	26_29	26_30	26_31	26_32	26_33	26_34	26_35	26_36	26_37	26_38
	Ecosistemes		27_1	27_2	27_3	27_4	27_5	27_6	27_7	27_8	27_9	27_10	27_11	27_12	27_13	27_14	27_15	27_16	27_17	27_18	27_19	27_20	27_21	27_22	27_23	27_24	27_25	27_26	27_27	27_28	27_29	27_30	27_31	27_32	27_33	27_34	27_35	27_36	27_37	27_38
Contam. sol/aigua		28_1	28_2	28_3	28_4	28_5	28_6	28_7	28_8	28_9	28_10	28_11	28_12	28_13	28_14	28_15	28_16	28_17	28_18	28_19	28_20	28_21	28_22	28_23	28_24	28_25	28_26	28_27	28_28	28_29	28_30	28_31	28_32	28_33	28_34	28_35	28_36	28_37	28_38	

Figura 5. Matriu agents-impactes per NOVA LÍNIA de ferrocarril, PERLLONGAMENT o DESDOBLAMENT (DGIMT, 2015)

2.3. MIVES

El Model Integrat de Valor per a Avaluacions Sostenibles (MIVES) és una altra guia per avaluar un projecte, però aquesta està basada en una anàlisi multicriteri, on s'avalua cada alternativa a través d'uns índex de valors. La guia MIVES segueix les fases claus d'una anàlisi Multicriteri, però una de les característiques que defineix aquest model i que el diferencia dels altres és que el plantejament de tot model de valoració és anterior a la creació i valoració de les alternatives. D'aquesta forma, les decisions es prenen a l'inici, quan es defineixen els aspectes que es tindran en compte i com seran valorats. Amb aquest plantejament, quan es pren la decisió entre les diferents opcions, no existeix cap influència de les valoracions de les alternatives evitant que es produeixi qualsevol tipus de subjectivitat amb alguna.

2.3.1. Estructura de la presa de decisions

La presa de decisions s'estructura amb tres grans eixos, com es pot veure a Figura 6. Un dels eixos és el cicle de vida, on es té en compte les fases temporals de les alternatives. La presa de decisions també es divideix en tots els seus components, és a dir, en les parts que componen les diferents alternatives. Per últim, està l'eix on hi són tots aquells requeriments o aspectes generals en els que es vol valorar les diferents opcions.

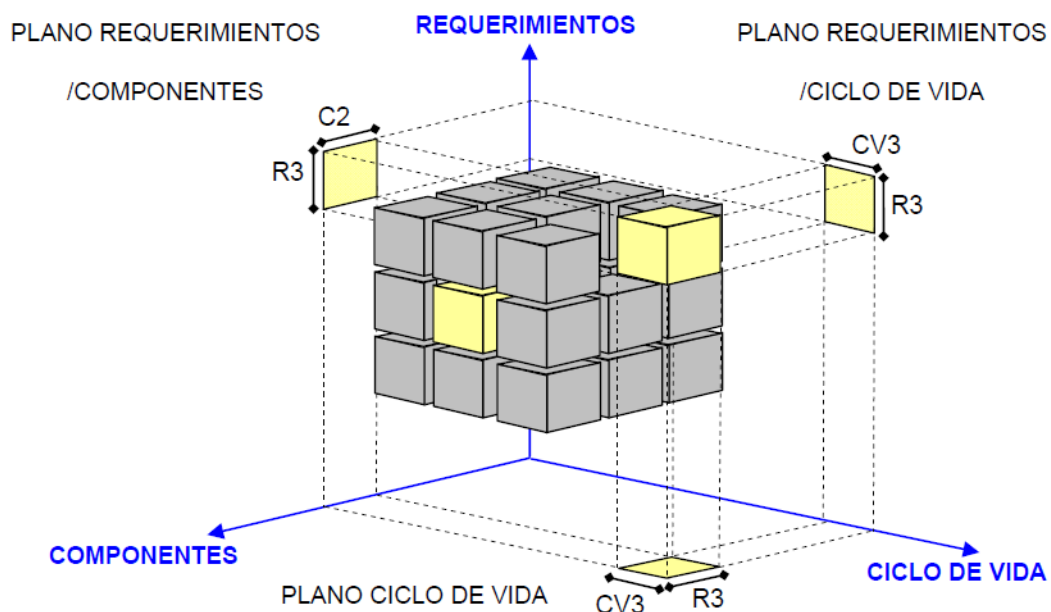


Figura 6. Estructura general de la presa de decisions del MIVES. Font: Josa, A. et al., 2009

L'estructura de la presa de decisió està molt vinculat de la següent fase: l'arbre de presa de decisions, ja que a l'arbre de presa decisions figuraran de forma ramificada tots els aspectes que es tindran en compte. Aquests aspectes seran valorats dintre dels límits del cicle de vida i dels components establerts en la primera fase d'estructuració de presa de decisió.

2.3.2. Etapes del MIVES

El procés a seguir per la presa de decisió està compost per (Josa, A., 2012):

- Identificació i estructuració dels indicadors rellevants. Això es reflecteix amb l'arbre de requeriments: a dalt de tot es troben els requeriments (R), els temes més general com ara funcionals, econòmics, mediambientals, socials, etc. Cada requeriment es divideix en criteris (C) i subcriteris (SC) més específics, com ara resistència al foc, financiació, emissions a l'atmosfera, etc. Finalment, s'arriba a la quantificació de cada ramal amb els indicadors (I), la part més tècnica i específica de cada aspecte, com ara: temperatura òptima, percentatge d'interès, kg de Co_2 equivalent, etc. Aquests indicadors han de ser representatius, discriminants, complementaris, relatius, quantificables i precisos.
- Valoració dels indicadors transformant-los a una unitat de valor comú.
- Creació de les funcions de valor. Es creen unes funcions per poder obtenir valoracions del 0 a l'1 de tots els indicadors de l'arbre de presa decisions. D'aquesta manera es pot comparar les valoracions dels indicadors que tenen una unitat de mesura diferent, com ara temps, cost, temperatura, etc.
- Assignació dels pesos. Se li assigna la importància relativa de cada un dels aspectes en relació amb els restants que pertanyen a la mateixa ramificació de l'arbre de presa de decisions. Si el pes de l'indicador no es pot determinar de forma directa, es pot calcular via el mètode de proporcions (comparació la importància de cada aspecte amb un altre considerat com a referència) o el mètode AHP (Analytical Hierarchy Process – Procés Analític Jeràrquic) (comparació per pars de tots els elements entre ells).
- Valoració de totes les alternatives i obtenció de l'índex de valors per a cada una de les alternatives plantejades. D'aquesta manera, s'identifica l'opció més òptima pel projecte.

- Realització d'una anàlisi de sensibilitat. S'analitza el possible canvi d'índex de valors de les diferents alternatives al variar els pesos i les funcions de valors dels indicadors.

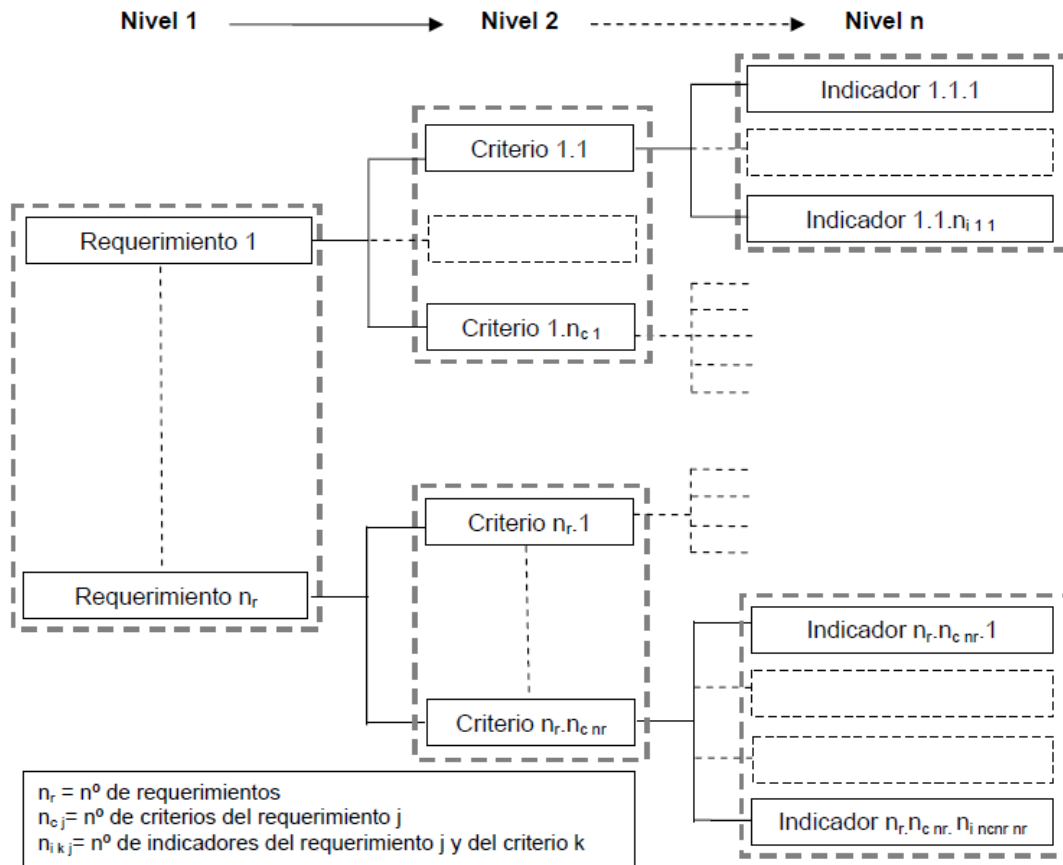


Figura 7. Arbre de requeriments del MIVES. Font: Josa, A. et al., 2009

2.3.3. Programa informàtic

Aquest mètode té un programa desenvolupat per a la valoració d'alternatives en una presa de decisió multicriteri i incorpora tots els aspectes metodològics anteriorment exposats.

El programa informàtic es divideix en tres mòduls: Programador, Usuari i Report. En aquest mateix ordre és com es van introduint el plantejament de les possibles alternatives i els pesos i funcions de valor de cada indicador.

Es comença definint el model en el mòdul de Programador. A l'acabar d'introduir l'arbre de requeriments, les funcions de valor i els pesos de cada indicador, es guardarà un fitxer d'extensió .mip, que únicament es podrà canviar en el primer mòdul Programador.

Seguidament, en el mòdul Usuari es pot obrir aquest fitxer .mip i crearà un nou fitxer on canviarà l'extensió a .miu (Figura 8). Amb la nova extensió, es podrà introduir la definició de les diferents alternatives i les quantificacions dels indicadors per a cada una de les opcions.

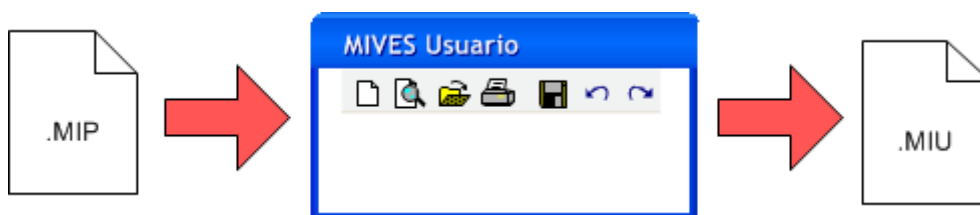


Figura 8. Conversió del model Usuari de .mip a .miu. Font: Josa, A. et al., 2009

Un cop introduïdes aquestes dades, s'obre l'últim mòdul dels tres, Report, on es podrà veure els resultats finals i el mateix programa prendrà la decisió de quina alternativa és la més rendible. A més, el mòdul Report permet l'extracció de resultats com informes impresos, o com fitxers de dades per poder processar posteriorment amb qualsevol full de càlcul (Figura 9).



Figura 9. Conversió del model Report de .miu a full de càlcul. Font: Josa, A. et al., 2009

2.4. Manuals d'altres països

S'ha realitzat una revisió dels manuals ACB disponibles d'altres territoris amb l'objectiu d'identificar i analitzar les metodologies d'ACB que s'utilitzen a altres regions, detectant les millors pràctiques i aspectes crítics per l'avaluació.

En molts països, els mètodes d'avaluació són obligatoris com a manera de prendre decisions. Els governs demanen que, abans de la construcció d'un projecte, s'ha d'haver fet un estudi exhaustiu sobre la rendibilitat d'aquesta inversió.

En l'aplicació de l'àmbit de transport públic, n'hi ha 19 manuals que tenen diferents maneres i metodologies per estudiar la rendibilitat d'un projecte (en la Bibliografia estan referenciats els manuals que es poden trobar a internet). En la Taula 17 s'observen els diferents països i zones que s'han analitzat i en la Figura 10 els anys de publicació de cada manual.

Regió	Número
Alemanya	1
Austràlia	1
Canadà	2
Catalunya	2
Espanya	2
Unió Europea	4
França	1
Holanda	1
Nova Zelanda	1
Regne Unit	3
Suècia	1

Taula 17. Zones analitzades amb manuals ACB. Font: Elaboració pròpia a partir de DGIMT, 2015

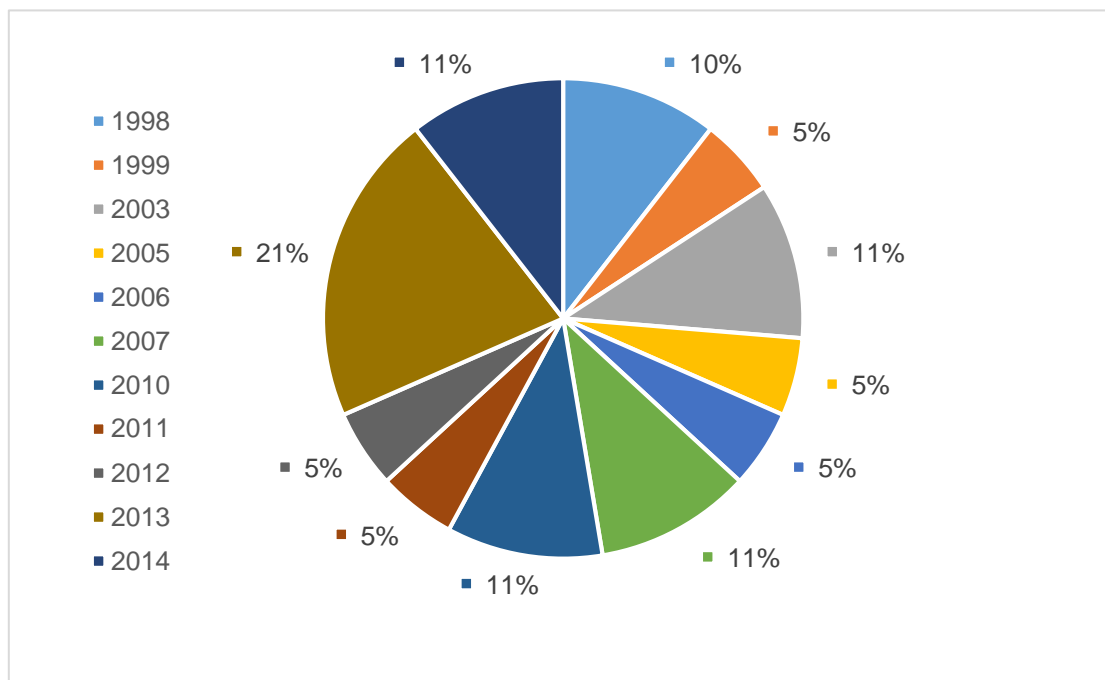


Figura 10. Anys de publicació dels diferents manuals. Font: Elaboració pròpia

La diferència entre els anys de publicació fa que els impactes contemplats i els seus mètodes de valoració tinguin algunes diferències.

Una de les variacions és l'impacte sobre els costos d'inversió i manteniment ha canviat en els preus ombra aplicats per reflectir el cost d'oportunitat social. En els factors dels usuaris, s'ha començat a aplicar un component de fiabilitat i confort, encara que no hi ha cap metodologia consensuada per la seva monetarització. En els elements amb més modificacions i alternacions amb el pas dels anys són les externalitats, on aspectes com el deteriorament del paisatge, efecte barrera, la pèrdua d'ecosistemes o la contaminació del sòl i aqüífers s'ha anat integrant dins l'ACB, tot i que no sempre amb mètodes de valoració monetària.

Encara que tots els manuals tenen moltes diferències entre sí, l'element clau que tenen en comú són les tres fases principals d'una Anàlisi Cost-Benefici: definició del projecte, avaluació d'impactes, interpretació dels resultats a partir dels indicadors de rendibilitat i criteris de decisió establerts. Un últim apartat, que no surt en tots els manuals però és de molta importància, és una anàlisi multicriteri del projecte per complementar la decisió de l'ACB.

CAPÍTOL II: CAS APLICAT, CONNEXIÓ XARXA TRAMVIA DE TRAMBAIX I TRAMBESÒS

1. Justificació de l'elecció del cas pràctic

El tramvia de l'Avinguda Diagonal és la inversió més important que té l'Ajuntament de Barcelona. Això es deu a que l'Avinguda Diagonal és una de les principals “artèries” de la ciutat ideada per Ildefons Cerdà.

Per aquest motiu, aquest projecte és un tema molt polèmic al món dels enginyers de transport, al igual que en l'àmbit de la política catalana. La població de la ciutat Comtal també vol participar en la presa de decisió sobre el futur de l'Avinguda Diagonal.

Aquests factors fan que el projecte del tramvia sigui l'elecció més atractiva per aquest cas pràctic.

2. Situació geogràfica i antecedents

El tramvia comença a desenvolupar-se a partir del 1872 a Barcelona, abans de la construcció del metro. En una ciutat sense vehicles, la població es desplaçava a peu o en bicicleta, i les mercaderies es distribuïen en carros tirats per cavalls. El tramvia, encara amb tracció animal, era la solució al problema creixent de la mobilitat a les grans ciutats.

Fins al 1929, Barcelona està en l'edat d'or del tramvia (al igual que en moltes ciutats europees i americanes), on el tramvia es converteix en indispensable en els trajectes urbans. Durant els anys 20, hi una forta inversió en la creació de noves línies i ampliació de les existents.

A partir de 1962, amb una xarxa de metro en expansió, el desenvolupament de nous serveis d'autobús i l'augment accelerat dels vehicles particulars, després de molt anys de desinversió en infraestructura i material mòbil, el tramvia és considerat a Barcelona (però no a d'altres ciutats europees) com una tecnologia obsoleta i un problema per a la mobilitat, més que una solució. A partir del 1965 es va procedir a una liquidació sistemàtica de la xarxa tramviària, també de línies tot just inaugurades tres anys abans. La última línia es tanca a principis dels setanta.

Durant els anys vuitanta, amb el primer Ajuntament democràtic, es produeix un canvi radical en les polítiques de mobilitat urbana, integrades a estratègies de renovació de l'espai públic urbà.

El 1987 TMB planifica la recuperació del tramvia i el 1989 la EMT realitza els primers estudis de reimplantació del tramvia per el Baix Llobregat i la Diagonal. El tramvia és ara considerat no com la solució de la mobilitat urbana sinó com un mode complementari, de capacitat intermèdia entre el metro i els autobusos, que ofereix un servei de més fàcil accessibilitat i comoditat que el dels autobusos o el metro, i que té un impacte molt positiu en la millora de qualitat urbana.

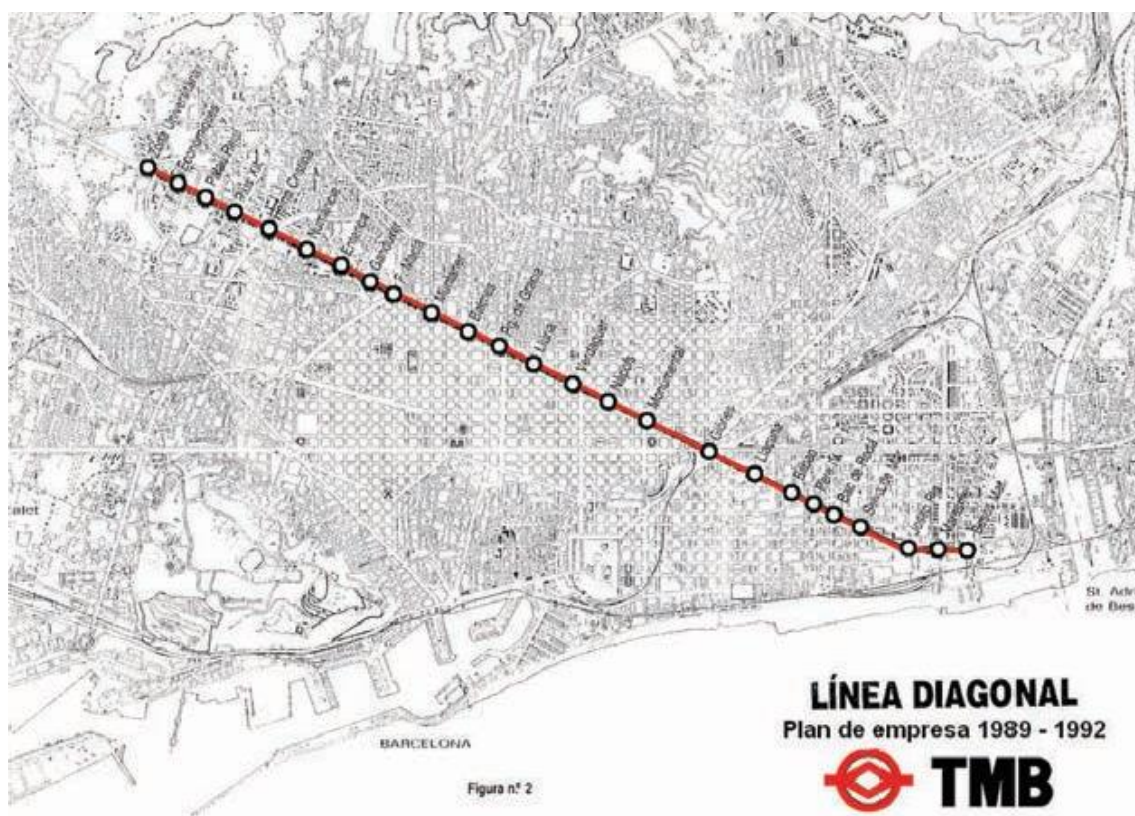


Figura 11. Proposta de TMB de la línia Diagonal de metro lleuger. Font: Lahoz, M., 2015

El 1997 es crea l'Autoritat del Transport Metropolitana i, al mateix any, es va construir un tram experimental de tramvia entre la plaça Maria Cristina i el carrer Numància de Barcelona. Aquell mateix any s'encarregava a l'Agència Barcelona Regional el *Projecte de concessió del tramvia: metro lleuger de la Diagonal – Baix Llobregat*.



Figura 13. Circulació d'un tramvia model Combino, de SIEMENS, pel tram pilot de la Diagonal. Font: Lahoz, M., 2015

El Pla Director d'Infraestructures (PDI) de l'ATM 2001-2010 va introduir per primera vegada en la planificació d'infraestructures el projecte d'un tramvia al llarg de la Diagonal: *“la nova línia s'inicia a la plaça Francesc Macià com a prolongació de la línia plaça Francesc Macià-Baix Llobregat, amb un tronc comú Francesc Macià-Glòries que discorre en superfície”*.



Figura 12. Fitxa AX12b, Tramvia Diagonal – Besòs, del PDI 2001-2010. Font: ATM, 2009

El Trambaix s'inaugura finalment el 3 d'abril de 2004. La primera línia de Trambesòs, la T4, lligada al projecte del Fòrum de les Cultures, s'obre un mes més tard. La T5 inicia el servei l'octubre de 2006 i la T6 el maig de 2007.

L'avanç del PDI 2009-2018 va incorporar, l'abril del 2010, la interconnexió de xarxes de tramvia en l'horitzó 2015 (XT07). D'acord amb la metodologia d'avaluació adoptada pel Pla, el projecte tindria una rendibilitat socioeconòmica associada molt superior a qualsevol altra de la resta d'infraestructures ferroviàries previstes en l'àmbit metropolità.

Entre 2009 i 2010, l'Ajuntament de Barcelona va impulsar un procés participatiu per conformar la imatge que havia de tenir la nova Diagonal. L'Ajuntament va proposar dues alternatives per al projecte de reforma de l'avinguda, l'una en forma de boulevard (opció A) i l'altra de rambla (opció B), que incloïen totes dues un corredor de tramvia en superfície, i una tercera opció "cap de les anteriors" (opció C). Van participar 172.000 ciutadans, el 12% dels barcelonins majors de 16 anys, i el 80% va optar a favor de l'opció C.

El 2014 l'Ajuntament de Barcelona du a terme la re-urbanització del tram de l'avinguda Diagonal entre Francesc Macià i Passeig de Gràcia ampliant voreres i reduint un carril de circulació per sentit, als laterals.



Figura 14. Secció actual de la Diagonal. Font: Ajuntament de Barcelona, 2016

El 2015 l'Ajuntament de Barcelona reobre el debat sobre la connexió dels tramvies recuperant la possibilitat d'una connexió per la Diagonal de Barcelona, i duent a terme l'estudi de les diferents opcions proposades en els últims anys: soterrament en túnel al llarg de la Diagonal i itineraris alternatius per l'Eixample, en particular a través dels

carrers Urgell i Provença, a més de la millora del servei d'autobusos al llarg de la Diagonal.

El projecte d'unificació de les xarxes tramviàries en superfície per l'Avinguda Diagonal incorporat al PDI 2011-2020 (ATM 2013) és coherent amb l'estratègia de reforma urbana i de la mobilitat proposada en el PMU 2013-2018 i amb el procés de transformació de la ciutat iniciat ja a mitjans dels anys vuitanta.

La unificació de la xarxa tramviària és un dels projectes urbans que ha estat més estudiat en els últims anys. S'ha realitzat varis estudis d'avaluació entre 2005 i 2015, i tots els informes coincideixen en que l'alternativa del tramvia a l'Avinguda Diagonal és la que té una rendibilitat socioeconòmica més alta. Tot i així, l'orde de grandària pels valors de costos del projecte, de la demanda captada i de l'estalvi de temps dels usuaris, no sempre són els mateixos. Aquestes divergències poden posar en qüestió la suposada rendibilitat socioeconòmica del projecte.

En la Figura 15, es mostra la xarxa actual del Tramvia a Barcelona amb les 5 línies en funcionament.

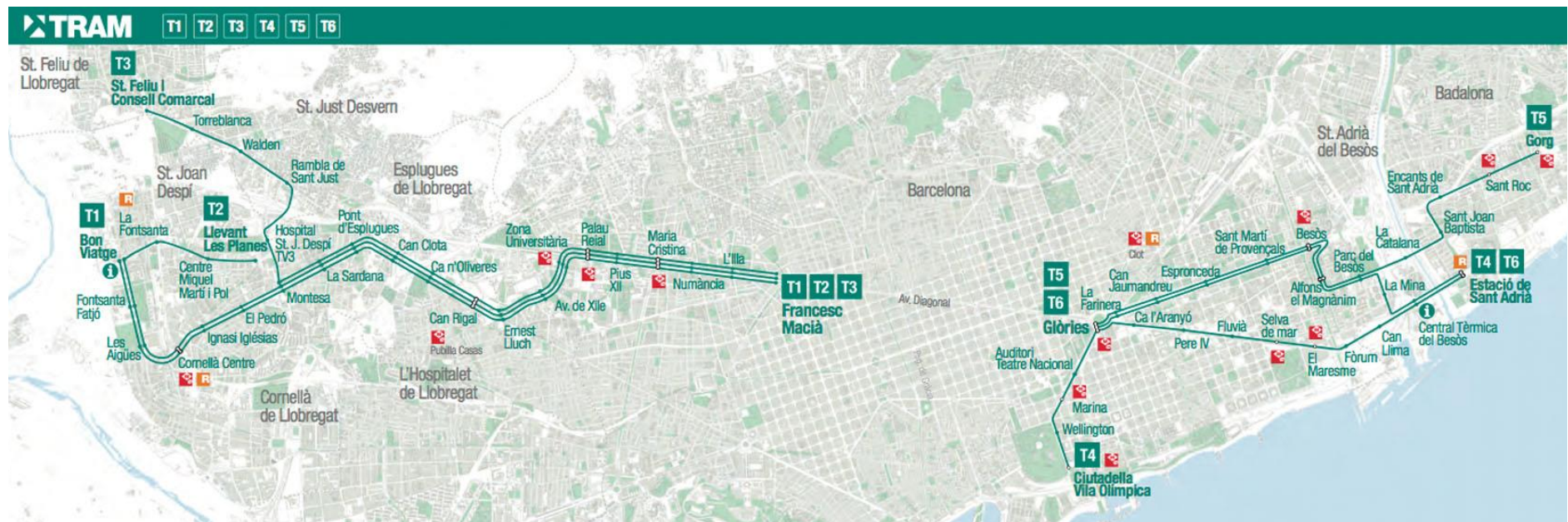


Figura 15. Xarxa actua de les 5 línies en funcionament del tramvia de Barcelona. Font: MCRIT, 2011

3. Descripció del projecte

El projecte del Tramvia en superfície requereix la construcció de 3,94 km de nova línia entre les places de Francesc Macià i Glòries a Barcelona i 6 noves parades separades uns 600 metres entre elles. La implantació de la línia entre Francesc Macià i Passeig de Gràcia no implica modificar la reforma recentment inaugurada, perquè s'integra sobre els sis carrils centrals de l'Avinguda.

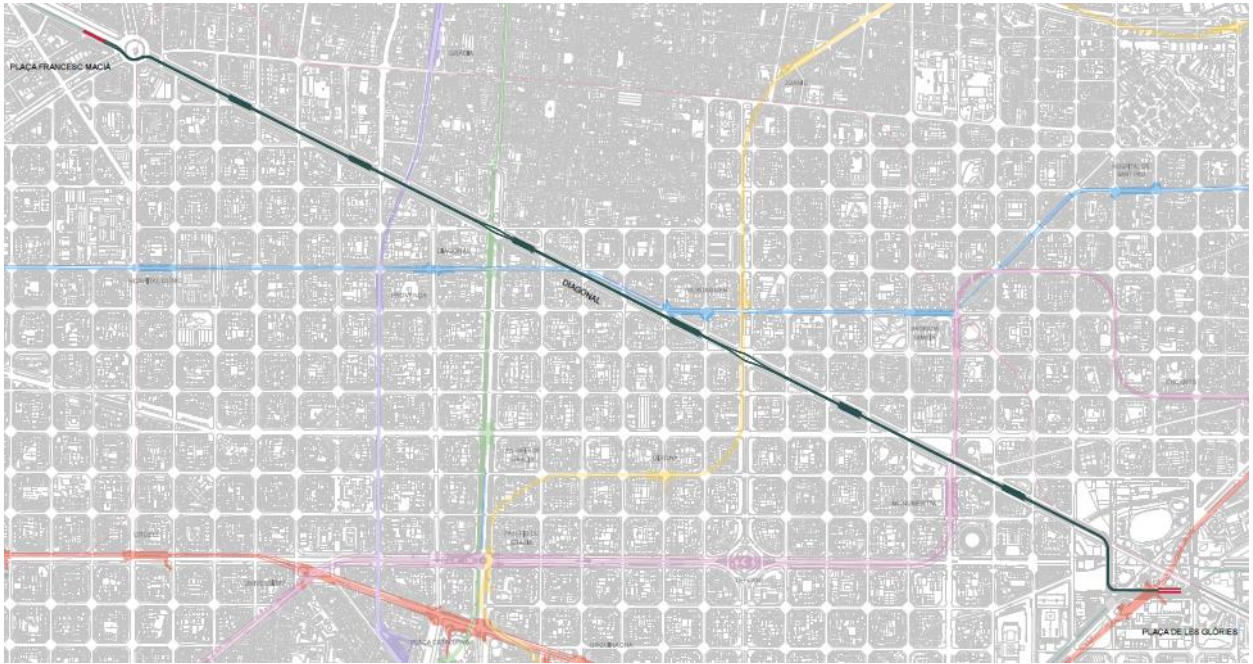


Figura 16. Mapa de la nova línia entre Pl. Francesc Macià i Pl. De les Glòries. Font: Ajuntament de Barcelona, 2016

La connexió de les dues xarxes actuals del Tramvia, Trambaix i Trambesòs, permetrà la realització de desplaçaments entre els àmbits de Francesc Macià i Glòries que actualment obliguen a la realització d'almenys un intercanvi modal entre l'autobús i el sistema ferroviari. D'altra banda, aquesta unió ha de permetre un increment significatiu de la connectivitat de la xarxa Tramviària amb les xarxes de metro, FGC i Rodalies (Ajuntament, 2016)

La definició del traçat d'aquesta actuació és especialment problemàtic, la qual cosa obliga a un estudi detallat de les possibles plantes i seccions de plataforma (Figura 17). Als vials on s'insereixi el mode Tramviari caldrà preveure i projectar totes les actuacions de remodelació necessàries per aconseguir una implantació harmònica, les quals hauran de ser considerades part integrant de l'actuació. En qualsevol cas, el traçat haurà

de discórrer per corredors on, des del punt de vista de la demanda, sigui racional introduir el mode Tramviari.

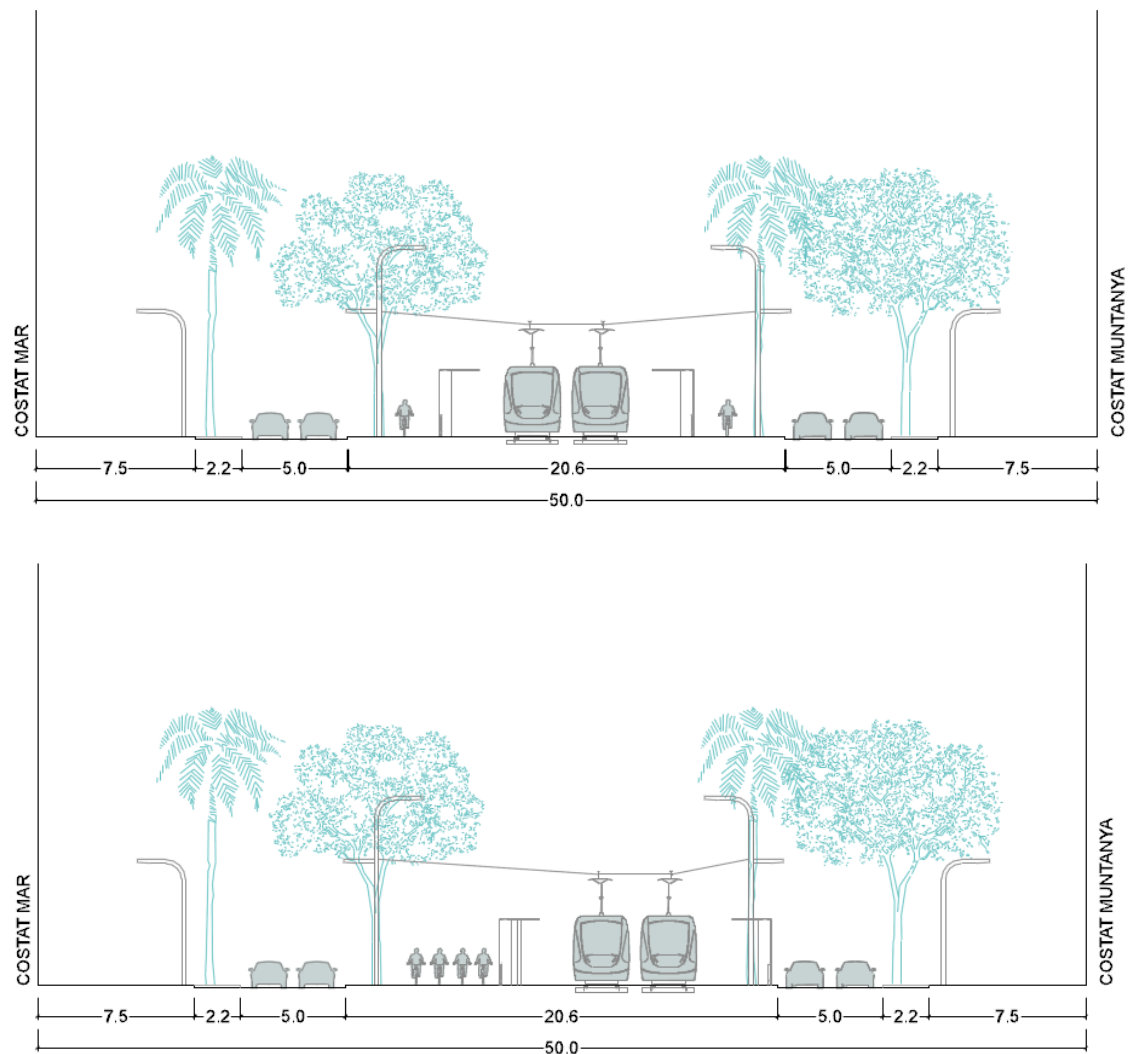


Figura 17. Seccions estudiades de la Diagonal amb estacions. Font: Ajuntament de Barcelona, 2016

Es farà una adaptació de la programació semafòrica de la Diagonal i dels carrers de l'Eixample del seu entorn, per tal de adaptar una ona verda d'acord amb la marxa dels Tramvies de manera que les parades dels Tramvies en les interseccions siguin nul·les o mínimes.

3.1. Alternatives del projecte

Durant els darrers anys s'han anat estudiant diverses alternatives de connexió de les dues xarxes. En un primer moment les 9 alternatives valorades han estat les següents (Ajuntament de Barcelona, 2016). Totes les alternatives estan dibuixades en la Figura 18, on es mostra, de manera més clara i entenedora, un mapa de la zona.

- 01. Unir els dos Tramvies mitjançant el bus urbà, reforçant la xarxa actual i afegint la línia D30+.
- 02. Alternativa d'unió de les dues xarxes de Tramvia, en superfície pels carrils centrals de la Diagonal.
- 03a. Proposta de Tramvia soterrat de forma superficial des de Francesc Macià fins al Passeig de Sant Joan i profund de Passeig de Sant Joan fins a Padilla.
- 03b. Proposta de Tramvia soterrat profund de Francesc Macià fins al carrer Padilla.
- 04. Alternativa d'unió per fora de la Diagonal passant en superfície per Urgell i Gran Via.
- 05. Alternativa d'unió per fora de la Diagonal passant en superfície per Av. Tarradellas, carrer Tarragona i Gran Via.
- 06a. Alternativa d'unió per fora de la Diagonal passant en superfície per Urgell, Provença i Diagonal.
- 06b. Alternativa d'unió per fora de la Diagonal passant en superfície per Urgell, Provença, Passeig de Sant Joan i Gran Via.
- 06c. Alternativa d'unió per fora de la Diagonal passant en superfície per Urgell, Provença, Marina i Gran Via.

Si bé els conceptes valorats en la seva majoria són de caràcter general i relacionats amb la mobilitat, es pot fer una primera anàlisi i descartar 5 alternatives: la 03a els costos són molt superiors a la resta d'alternatives pel fet de soterrar el Tramvia, que a més comporta afeccions als serveis i a l'arbrat existent.; la 05 és la tercera alternativa amb un major cost, més longitud de traçat i és la que té una major afectació de l'arbrat.; la 06b i 06c són les següents tant en costos com en afectació de l'arbrat, a més de tenir les menors velocitats comercials a causa dels cicles semafòrics perduts; la 04 i 06a tenen costos similars, i encara que la segona pel que fa a l'afectació de l'arbrat els valors són lleugerament més desfavorables, aquesta ofereix un traçat que a l'actualitat no està servit amb transport, la longitud del traçat és inferior i té una major capacitat d'inserció en la xarxa semafòrica de la ciutat.



Figura 18. Plànol guia de les alternatives possibles. Font: Ajuntament de Barcelona, 2016

Així doncs, només s'han analitzat i valorat en més profunditat les alternatives 01, 02, 03b i 06a, és a dir, unir els dos Tramvies mitjançant el bus urbà (D30+), amb Tramvia en superfície per la Diagonal (Diagonal), amb Tramvia soterrat per la Diagonal (Túnel) i per Urgell, Provença i Diagonal (Eixample).

L'Ajuntament de Barcelona (2016) va realitzar una anàlisi multicriteri que permetés conèixer l'estat actual de diferents paràmetres i així comparar els canvis futurs de cada alternativa (Taula 18). En el cas de l'escenari de referència i l'alternativa Túnel, al ser soterrat, no es pot analitzar de la mateixa manera ja que no tindrà els efectes associats en el canvi de model de mobilitat en la Trama urbana de Barcelona. Els paràmetres s'analitzen seguint un codi de colors que respon a un canvi positiu (verd), neutral (gris) o negatiu (vermell).

En les tres alternatives la població que tindrà accés al servei es força similar encara que la demanda esperada de l'alternativa D30+ és molt inferior respecte a les altres dues. Pel que fa al viari existent, la D30+ tindria pocs canvis ja que només es suprimiria un carril de circulació, la Diagonal suposa canviar tota la secció central i l'Eixample suposaria la desaparició del carrer Provença de la circulació de la ciutat. Tot i això, en els tres casos la reordenació del trànsit es podria resoldre de manera òptima tal com ha passat en altres carrers de la ciutat com Gran Via, Balmes, General Mitre, etc.

L'estacionament de vehicles afectaria a l'alternativa Eixample. Tant el consum energètic com la disminució de gasos i de soroll no variarà considerablement en cap de les tres alternatives. No així amb l'arbrat, ja que en l'alternativa Eixample s'arribarien a extreure 312 arbres. En aquest sentit, en l'alternativa D30+ no hi hauria oportunitats de reconversió urbana al no haver grans canvis en el traçat.

En el cas de l'alternativa Eixample es considera que succeeix el mateix ja que en l'actualitat el carrer Provença ja es troba força pacificat. En canvi, l'alternativa Diagonal sí que suposaria un canvi important al reduir dràsticament la circulació de vehicles i fomentaria un corredor verd a l'àmbit. D'aquesta manera s'estima que només l'alternativa Diagonal suposaria una devolució d'espai públic als vianants.

Pel que fa a oportunitats de millora social, les alternatives Diagonal i D30+ connecten diversos barris de la ciutat, en canvi l'alternativa Eixample només connectaria els barris de l'Eixample. Per això, les dues primeres promou la connexió entre barris i els desplaçaments cap a noves zones de transformació com el 22@ o el Campus-Diagonal Besòs de l'UPC.

L'alternativa Diagonal és la que disposa de menys serveis i establiments d'activitat econòmica propers a les parades, així la implantació d'aquesta alternativa podria potenciar-los. També es considera que la Diagonal és una avinguda que ofereix més pols d'interès, a diferència dels carrers Urgell o Provença.

Per acabar amb l'anàlisi multicriteri (Taula 18), el paisatge no variaria de manera important en el cas de l'alternativa D30+. L'alternativa Eixample tindria un fort impacte en l'arbrat, per tant, s'estima que el canvi seria negatiu. En canvi, en l'alternativa Diagonal amb Tramvia suposaria una millora evident al reduir els vehicles per hora gairebé a la meitat i al implementar un sistema de transport eficient en superfície.

	DIAGONAL	EIXAMPLE	D30+
Població servida			
Demanda esperada			
Repercussió sobre el viari existent			
Reordenació possible del trànsit			
Afecció a l'estacionament dels vehicles			
Consum energètic			
Disminució de l'emissió de gasos de combustió			
Disminució dels nivells sonors			
Afectació de l'arbrat (arbres a extreure)			
Oportunitats de reconversió urbana			
Devolució d'espai públic als vianants			
Oportunitats de millora social			
Potenciació de comerç i serveis			
Pols d'interès i centralitat			
Modificació del paisatge en relació a l'inici			

Taula 18. Anàlisi multicriteri de l'alternativa del Tram a la Diagonal. Font: Ajuntament de Barcelona, 2016

Finalment, introduint tots els criteris a la Taula 18, s'obté que l'opció de la Diagonal és la més rendible per la societat. Aquesta anàlisi fet per l'Ajuntament de Barcelona (2016), és molt descriptiu i subjectiu, i és per això que en l'estudi també es fa una Anàlisi Cost-Benefici entre les 4 alternatives: tramvia per la Diagonal, tramvia per l'Eixample, tramvia en túnel (com ja s'ha explicat, no s'ha pogut introduir dintre de l'anàlisi multicriteri ja que els canvis i efectes són molt diferents a les altres alternatives) i l'autobús D30+.

Els resultats finals dels 4 Anàlisi Cost-Benefici són els de la Taula 19 i l'Ajuntament de Barcelona (2016) pren la decisió que l'alternativa del Tramvia per l'Avinguda Diagonal és la més rendible.

	Tramvia per la Diagonal en superfície	Tramvia en túnel	Tramvia per l'Eixample (Urgell-Provença)	D30+
VAN	88 M€	-116 M€	-80 M€	-11 M€
TIR	11 %	1 %	-6 %	-3 %

Taula 19. Resultats de l'Anàlisi Cost-Benefici de les 4 alternatives.

Font: Ajuntament de Barcelona, 2016

Aquest informe no mostra cap xifra ni càlcul de com s'han obtingut aquests indicadors. És a dir, és una anàlisi que un extern no pot tornar a reproduir perquè no hi ha la informació suficient per fer-ho.

Per aquest motiu, el que es farà en aquest cas pràctic és partir de la informació bàsica donades per l'Ajuntament de Barcelona (2016): els números de la demanda captada, temps de viatge, els costos de inversió i manteniment, etc. I amb aquestes dades, realitzar un estudi de la rendibilitat amb les tres guies d'avaluació MAIT, SAIT i MIVES. Només s'analitzarà des dels tres punts de vista diferents, l'alternativa que l'Ajuntament de Barcelona (2016) diu que és la més rendible per la societat: el Tramvia de la l'Avinguda Diagonal a Barcelona.

3.2. Dades per l'Anàlisi Cost-Benefici

Les dades que s'utilitzaran en aquesta anàlisi són extretes, principalment, de l'Ajuntament de Barcelona (2016) i de Lahoz, M. (2015). Al final de l'ACB es farà una anàlisi de sensibilitat, perquè, a part de que és obligatori en una Anàlisi Cost-Benefici (1.1. Anàlisi Cost-Benefici), hi ha algunes dades que mostren certa incoherència, que no s'explica amb claredat d'on surten.

En aquest treball, com s'estudia des del punt de vista de l'Administració, s'utilitzarà l'anàlisi des del punt de vista social i els indicadors VAN social (Equació 3) i TIR social i així s'arribarà a un estudi socioeconòmic de la infraestructura.

Es té en compte que es produeix un augment moderat de la demanda del transport públic: 1,5% l'any en els primers 15 anys i 1% posteriorment³ (Ajuntament de Barcelona, 2016).

Per a l'estudi de la reducció de vehicles i la conseqüent disminució de carburant i de contaminació, s'analitza tots els paràmetres necessaris per calcular aquests factors. El percentatge de vehicles pesants a la ciutat de Barcelona és de 13,1% (IDESCAT, 2015). El percentatge de vehicles lleugers que utilitzen gasolina a Espanya és de 50,16% (DGT). La densitat de la benzina és de 680 g/L i la del gasoil és de 850 g/L.

El costos dels carburants a Espanya són els de la Taula 20, però es tenen en compte els preus sense impostos, ja que aquests són una transferència de diners de l'usuari a l'administració. És a dir, els costos que té l'usuari són els beneficis que obté l'administració, fent que el balanç total sigui zero.

	GASOLINA (€/Litre)		GASOIL (€/Litre)	
	Amb impostos (PVP, Preu de Venta al Públic)	Sense impostos (PSI, Preu Sense Impostos)	Amb impostos (PVP, Preu de Venta al Públic)	Sense impostos (PSI, Preu Sense Impostos)
Espanya	1,251	0,572	1,13	0,566

Taula 20. Preus d'Espanya de la gasolina i el gasoil al 2017. Font: Elaboració pròpia a partir de MINETAD, 2017

Amb l'enquesta realitzada per IERMB per Tramvia Metropolità SA (2009) del Trambesòs i Trambaix, s'estima el perfil d'usuari de la xara del Tramvia (Taula 21). D'aquesta

³ Entre 2013 i 2014 la mobilitat en transport públic va créixer un 1,47%, Ajuntament de Barcelona (2015). Aquest canvi de l'augment de la demanda hipotètic s'estudia amb més detall als apartats de cada d'Anàlisi de sensibilitat.

manera, sabent el motiu de viatge dels usuaris i tenint en compte els coeficients a utilitzar per cada guia (2.1.MAIT i 2.2.SAIT), es podrà calcular el valor de temps mitjà i l'ocupació mitja d'un vehicle en cada cas.

	Percentatge d'usuaris
Negocis o gestions	16,2%
Treball i estudi	49,2%
Lleure i compres	34,6%

Taula 21. Repartiment de la mobilitat per motius de viatge a la xarxa de Tramvia. Font: TRAM, 2009

3.2.1. Costos

En primer lloc, es consideren els costos creats per la nova infraestructura del Tram, els quals tenim fixes i per això ja s'especifica el preu final:

3.2.1.1. Cost de construcció

La inversió inicial té un cost de 104 M€, dels quals 34 són de sistemes ferroviaris, cotxeres i urbanització de la traça del Tramvia, i 70 en material mòbil (Ajuntament de Barcelona, 2016).

També s'ha estimat la urbanització de les voreres de la Diagonal, reorganització dels carrils laterals, etc, validada en 24 M€. Com que aquest cost no és directament necessari pel Tramvia, no es té en compte en l'estudi.

Com es veu en la Taula 22, les quantitats monetàries estan justificades i es té en compte les possibles renovacions fins el final de la vida útil de la infraestructura:

TREBALLS PREVIS, DEMOLICIONS I ENDERROCS	122.176,99
MOVIMENTS DE TERRES	556.445,21
POSTA DE VIA, URBANITZACIÓ, PARADES I ACABATS	28.468.941,26
CATENÀRIA, SENYALITZACIÓ I SERVEIS	4.409.340,63
MATERIAL RODANT	70.345.614,56
XARXA TRAMVIÀRIA	103.902.518,65

*Taula 22. Resum de la inversió inicial del projecte (€).
Font: Lahoz, M., 2015*

A mig termini es preveu un 57 M€ addicionals per a permetre combois en composició doble per servir el creixement de la demanda prevista. Un cop adquirit aquest nou

material mòbil s'hauria de realitzar una nova ampliació de cotxeres amb un cost de 13 M€.

3.2.1.2. *Cost de manteniment i explotació*

Els costos de les xarxes del Tramvia augmentarà de l'actual (Trambaix i Trambesòs) en uns 6M€ anuals. Quan s'implementin els combois en doble composició a mig termini, el cost augmentarà fins a 9M€ anuals, un augment de 3M€ (Ajuntament de Barcelona, 2016).

3.2.2. Beneficis

3.2.2.1. *Estudi de la demanda*

S'ha d'analitzar la nova demanda de passatgers que atrauria la línia del Tramvia. Segons l'estudi de demanda de l'Ajuntament de Barcelona (2016), el Tram atrauria a 222.000 nous viatgers diaris. Aquesta nova demanda es pot classificar en diferents tipus:

- *Usuaris d'altres transports públics:* 82.000 usuaris que ara viatgen en autobús o metro per l'Avinguda Diagonal, canvien el mode de transport a Tramvia.
- *Usuaris induïts* (explicació en l'apartat 1.1.1.Etapes de l'ACB): 116.000 induïts. S'ha considerant com a usuari induït nous usuaris que ara no viatgen i als nous passatgers que ara fan una ruta diferent a la nova (no competitiva).
- *Usuaris del vehicle privat:* 15.000 usuaris deixarien el cotxe per transportar-se en la nova línia de Tram.
- *Usuaris vianants:* 9.000 usuaris que abans caminaven.

Com bé s'ha esmentat en l'apartat 3.2.Dades per l'Anàlisi Cost-Benefici, aquesta demanda del transport públic augmentarà amb les anys de vida útil (1,5% durant els primers 15 anys i després baixarà a 1% d'augment anual). Es per això que a la Taula 23 es veu com la demanda dels usuaris del transport públic i dels induïts va creixent. Aquests números són els que s'utilitzaran en el cas de que la guia o el model agafi la demanda com a variant, però en el cas de que la guia demani un valor mitjà de demanda pels anys de vida útil, s'utilitzarà la Taula 24.

La demanda del vehicle privat, segons l'Ajuntament de Barcelona (2016), es manté constant.

Any	Usuaris diaris captats del transport públic	Usuaris diaris induïts
2018	0	0
2019	82.000	116.000
2020	83.230	117.740
2021	84.478	119.506
2022	85.746	121.299
2023	87.032	123.118
2024	88.337	124.965
2025	89.662	126.839
2026	91.007	128.742
2027	92.372	130.673
2028	93.758	132.633
2029	95.164	134.623
2030	96.592	136.642
2031	98.041	138.692
2032	99.511	140.772
2033	100.506	142.180
2034	101.511	143.602
2035	102.527	145.038
2036	103.552	146.488
2037	104.587	147.953
2038	105.633	149.432
2039	106.690	150.927
2040	107.756	152.436
2041	108.834	153.960
2042	109.922	155.500
2043	111.022	157.055
2044	112.132	158.626
2045	113.253	160.212
2046	114.386	161.814
2047	115.530	163.432
2048	116.685	165.066
TOTAL	3.001.457	4.245.964

Taula 23. Demanda variable d'usuaris diaris fins al 2048. Font: Elaboració pròpia

	Demanda constant
Usuaris diaris captats del transport públic	101.009
Usuaris diaris induïts	71.445

Taula 24. Demanda constant d'usuaris fins al 2048. Font: Elaboració pròpia

3.2.2.2. *Temps de viatge*

Després d'analitzar el tipus i el número d'usuaris que es veurien afectats, s'ha d'estimar per a cada tipus de passatger si el temps de viatge es reduiria o augmentaria degut a la nova infraestructura.

El temps de viatge és un dels coeficients més difícil de designar, és per això que en l'apartat 4.1.5.*Anàlisi de sensibilitat (Hipòtesi de la reducció de temps)*, s'estudia amb molt detall si amb el canvi de segons, el resultat final és molt sensible.

Segons l'Ajuntament de Barcelona (2016), els usuaris que venen d'altres transport públics guanyarien 2,5 minuts per viatge (temps d'espera i transbordament incorporat). Els induïts també, però s'ha de tenir en compte, com s'explica a l'apartat 1.1.1.Etapes de l'ACB, que els beneficis d'un usuari induït són la meitat dels beneficis d'un passatger captat del transport públic.

Pels usuaris del vehicle privat, es fa un estudi més detallat sobre la pèrdua de capacitat viària en l'apartat 3.2.3.5.*Congestió per la reducció de la capacitat viària*. Ja que hi ha una part negativa, la pèrdua de carrils de conducció, i una positiva, 15.000 usuaris deixen el cotxe. L'Ajuntament de Barcelona (2016), té en compte que aquests dos factors es balancen (no ensenya cap dada al respecte), però en aquest treball sí que s'analitza i es monetitzen aquestes dues causes.

En el cas dels vianants, s'estima que ni guanyen ni perden temps degut a la nova infraestructura.

3.2.2.3. *Tarifes*

No es té en compte els beneficis monetaris de la compra de bitllets dels nous passatgers perquè és una transferència de diners de l'usuari a l'administració. És a dir, els costos que té l'usuari són els beneficis que obté l'administració, fent que el balanç total sigui zero.

3.2.3. Externalitats

Per últim, s'estudien tots els efectes indirectes, és a dir, externalitats que el projecte del Tramvia produirà:

3.2.3.1. *Accidentalitat*

No es consideren impactes diferencials d'accidentalitat, ja que l'accidentalitat del transport públic a Barcelona és casi nul·la (Ajuntament de Barcelona, 2017).

3.2.3.2. *Accessibilitat*

Segons la DGIMT (2015), l'accessibilitat es pot valorar a partir del temps mig de desplaçament, sense contemplar la seva territorialització. Això pot comportar integrar dues vegades en l'anàlisi el mateix concepte ja que els estalvis de temps ja queden recollits dins de l'ACB. Així doncs, cal excloure aquest factor de l'anàlisi per evitar una possible doble comptabilització si s'integren ambdues avaluacions.

L'Ajuntament de Barcelona (2016) valora una millora d'accessibilitat respecte la situació actual en un 10% per cada usuari captat pel Tramvia. Però, seguint la DGIMT (2015), aquest treball no tindrà en compte aquest factor.

3.2.3.3. *Contaminació acústica, de l'aire i cost dels carburants*

La disminució de vehicles privats reduirà tant el soroll a l'Avinguda, com la contaminació de l'aire i els costos dels carburants.

Sabent que 15.000 usuaris diaris deixen el cotxe (3.2.2.1. *Estudi de la demanda*), apliquem el factor d'ocupació de vehicle de cada guia (2.1. *MAIT* i 2.2. *SAIT*) i així es podrà calcular el número de cotxes diaris i anuals que deixen de circular per l'Avinguda Diagonal. Aquest càlculs es troben en els apartats 4.1.3. *Externalitats* i 4.2.3. *Externalitats* de les respectives guies.

3.2.3.4. *Contaminació lumínica, del sòl, vibracions, efecte barrera, i paisatge*

La zona ja està urbanitzada, així que no hi ha efectes positius o negatius al implantar el Tramvia.

3.2.3.5. *Congestió per la reducció de la capacitat viària*

La nova línia del Tramvia implica l'eliminació de carrils de circulació dels vehicles privats de l'Avinguda Diagonal. Encara que el Tramvia capti a usuaris del vehicle privat, s'ha d'estudiar si els carrils de circulació restants són capaços d'absorbir el nou flux sense augmentar el temps de viatge d'aquests usuaris.

Per trobar aquest cost en l'augment del temps de viatge del usuaris del cotxe, s'ha considerat Ruiz, D. (2015), on es fa un estudi detallat sobre aquesta variació en la capacitat viària de la Diagonal. El treball utilitza el mètode desenvolupat a l'article titulat

“Paris: a Desire Named Streetcar”, on es formula una Anàlisi Cost-Benefici de la implantació d'un Tramvia a la ciutat de París.

Com a petit resum, el treball calcula el cost de circulació en la situació pre-projecte (P_a), l'increment en els costos de circulació una vegada implantat el Tramvia (ΔP) i, per últim, la quantitat de vehicles en el cas base (Q_a). D'aquesta manera, amb la fórmula de l'elasticitat (ϵ) en la corba de demanda, es troba la quantitat de vehicles que són eliminats de la circulació (FA).

En el nostre cas, com que ja sabem el número de vehicles que són retirats de la Diagonal (15.000 usuaris/dia, 3.2.2.1. *Estudi de la demanda*), només s'ha de calcular els vehicles que hi passaven abans del projecte (IMD de 90.069 vehicle/dia, Ruiz, D., 2015) i l'increment en els costos de la circulació una vegada implantat el Tramvia (ΔP), Equació 4.

$$\Delta P = VdT \cdot OcupacióVehicle \cdot \Delta t$$

Equació 4. Increment en el cost de circulació viari pel Tramvia, on l'increment de temps per kilòmetre recorregut és 0,45 min/km. Font: Ruiz, D., 2015

Finalment, ja es podrà calcular el cost anual de la pèrdua viària en l'Avinguda Diagonal per a les respectives guies i models, Equació 5.

$$COST = [Vehicles retirats anuals \cdot 0,5 + (Vehicles preprojecte - Vehicles retirats)] \cdot DistànciaTramvia \cdot \Delta P$$

Equació 5. Cost total de la pèrdua viària a la Diagonal, on la distància del Tramvia és de 3,94km. Font: Ruiz, D., 2015

4. Guies d'avaluació aplicades

En aquest apartat s'explica com s'han obtingut els resultats finals del projecte del Tram en el cas dels tres manuals estudiats en el Capítol I: *2.1.MAIT*, *2.2.SAIT* i *2.3.MIVES*. Tots els càlculs no ensenyats en aquest treball dels beneficis i costos finals, es troben en l'Apèndix.

4.1. MAIT

L'apartat teòric que introdueix aquesta guia catalana creada al 2010 és el *2.1.MAIT*, on s'explica amb més detall aquest manual i els coeficients a utilitzar per cada cas.

En aquest treball només ens centrem en l'Anàlisi Cost-Benefici del MAIT sense entrar en l'avaluació macroeconòmica ni el multicriteri. Això es degut a que aquests dos últims mètodes d'anàlisi no podríem comparar-los amb els altres manuals SAIT i MIVES, ja que aquests no es calculen.

4.1.1. Costos

Els costos de la inversió inicial, manteniment i d'explotació es prenen fixes. Especificat en l'apartat *3.2.1.Costos*.

Cost anual manteniment (primers 15 anys)	-6 M€
Cost anual manteniment (primers 15 anys)	-9 M€
Cost total manteniment	-228 M€
Cost inversió	-104 M€
Cost reinversió (15 anys)	-70 M€

4.1.2. Beneficis

Seguidament, es consideren els beneficis. Però en primer lloc, es necessita pels següents apartats saber quin valor del temps (VdT) mitjà té aquest projecte (càlculs: Apèndix 1.1). Per calcular-ho, s'agafen els paràmetres del MAIT per a cada perfil de passatger (*2.1.MAIT*) i s'apliquen en l'estudi de tipus d'usuari del Tramvia del Trambaix i Trambesòs realitzat per l'IERMB (*3.2.Dades per l'Anàlisi Cost-Benefici*). Finalment, el valor mitjà del temps per un usuari del Tramvia, segons el manual MAIT, és de 11,66 €/hora.

4.1.2.1. Usuaris

Es segueix l'Equació 6 per cada any de la infraestructura, tenint en compte que la demanda augmenta (especificat en l'apartat 3.2.Dades per l'Anàlisi Cost-Benefici). L'augment del número d'usuaris d'any per any es troba en la Taula 23.

$$\text{Beneficis} = \text{Usuaris anuals guanyats} \cdot \text{temps estalviat} \cdot VdT$$

Equació 6

D'aquesta manera, pels usuaris que venen del transport públic el primer any (3.2.2.1.Estudi de la demanda i 3.2.2.2.Temps de viatge) es té un benefici de casi 12,3 M€ i al 2048 augmenta a 18,1 milions. En total, es té un benefici durant els 30 anys de vida de la infraestructura de 466,6 M€ (Annex).

Benefici anual primer any	12,3 M€
Benefici anual últim any	18,1 M€
Benefici total	466,6 M€
Càlculs: Apèndix 1.2.1	

En el cas dels usuaris induïts (explicació teòrica en l'apartat 1.1.1.Etapes de l'ACB), amb les dades extretes de 3.2.2.1.Estudi de la demanda i 3.2.2.2.Temps de viatge, els beneficis totals són de 330 M€ en el total del 30 anys estudiats.

Benefici anual primer any	9 M€
Benefici anual últim any	12,8 M€
Benefici total	330,1 M€
Càlculs: Apèndix 1.2.2	

4.1.3. Externalitats

Per últim, s'estudien tots els efectes indirectes, és a dir, externalitats que el projecte del Tramvia produirà.

Per fer els següents apartats, s'ha de calcular l'ocupació de cada vehicle (càlculs: Apèndix 1.3). Ja que sabem que 15.000 usuaris deixaran de circular per l'Avinguda Diagonal, però no el número de vehicles. Per saber-ho, s'agafen els paràmetres del MAIT per a cada perfil de passatger (2.1.MAIT) i s'apliquen en l'estudi de tipus d'usuari del Tramvia del Trambaix i Trambesòs realitzat per l'IERMB (3.2.Dades per l'Anàlisi Cost-Benefici). Finalment, l'ocupació mitja de cada vehicle, segons el manual MAIT, és de 1,37 ocupants/vehicle. Això fa que, diàriament, deixin de circular casi 11.000 cotxes.

4.1.3.1. Contaminació acústica

Amb la reducció de vehicles privats anuals (3.2.2.1. *Estudi de la demanda*) i el factors del MAIT (2.1. *MAIT*), s'arriba l'estalvi de 80,3 mil euros l'any. Aquest preu serà fixe pels 30 anys següents, acumulant 2,4 M€.

$$\text{Benefici} = \text{Km estalviats anuals} \cdot \% \text{ veh lleugers} \cdot \text{Paràmetre SAIT veh lleugers}$$

Equació 7

Benefici anual	80,3 k€
Benefici total	2,4 M€
Càlculs: Apèndix 1.4	

4.1.3.2. Contaminació de l'aire

La disminució de vehicles privats reduirà la contaminació dels gasos CO₂, NO_x i PM₁₀ a l'Avinguda Diagonal (3.2.3.3. *Contaminació acústica, de l'aire i cost dels carburants*). La Taula 25 mostra la quantitat d'emissions que disminuiran diàriament conjuntament amb el benefici anual, que serà de 19,8 mil i 11,7 mil euros constants pel NO_x i PM₁₀, respectivament. Amb el cas del CO₂, el primer any hi haurà un benefici de 81 mil euros i anirà augmentant fins que, entre 2030 i 2048, es mantindrà en 108 mil (explicació en l'apartat 2.1. *MAIT*). Al final de la vida útil de la infraestructura el benefici per la reducció de gasos serà una acumulació de 4 M€.

$$\text{Beneficis} = \text{Cost CO}_2 \left(\frac{\text{€}}{\text{tona}} \right) \cdot \text{Combustió} \left(\frac{\text{g}}{\text{km}} \right) \cdot \text{Km estalviats anuals}$$

Equació 8

	Emissions diàries (g)	Beneficis anuals (€)	
CO ₂	8.209.254	Any 2019	80.940
		Any 2048	107.705
NO _x	19.429	19.793	
PM ₁₀	1.916	11.708	

Taula 25. Reducció de les emissions dels diferents gasos i els seu valor econòmic. Font: Elaboració pròpia

Benefici anual CO ₂ primer any	80,9 k€
Benefici anual CO ₂ últim any	107,7 k€
Benefici anual NO _x	19,8 k€
Benefici anual PM ₁₀	11,7 k€
Benefici total	4 M€
Càlculs: Apèndix 1.5	

4.1.3.3. Cost dels carburants

La reducció de vehicles privats també estalvia diners en els carburants (2.1.MA/T). El benefici anual és de 627,7 mil euros. El guany als 30 anys és de 18,8 M€.

$$\text{Beneficis} = \text{Emisió veh} \left(\frac{g}{km} \right) \cdot \text{Densitat gasoil} \left(\frac{L}{g} \right) \cdot \text{Preu gasoil} \left(\frac{€}{L} \right) \cdot \text{Km estalviats anuals}$$

Equació 9

Benefici anual	627,7 k€
Benefici total	18,8 M€
Càlculs: Apèndix 1.6	

4.1.3.4. Pèrdua capacitat viària

Per estudiar aquesta part, es té en compte el treball ja explicat en l'apartat 3.2.3.5. *Congestió per la reducció de la capacitat viària.*

L'increment en el cost de circulació viària (Equació 4) pel Tramvia equival a 0,120 €/veh·km. Llavors el cost final per la pèrdua de la capacitat viària en la Diagonal (Equació 5) és de 7,6M€.

Al final de la vida útil de la infraestructura s'hauran tingut acumulats 228 M€ en costos per aquesta externalitat.

Cost anual	-7,6 M€
Cost total	-228 M€
Càlculs: Apèndix 1.7	

4.1.4. Resultats

A partir de totes les dades que s'han exposat en els apartats anteriors 4.1.1. *Costos*, 4.1.2. *Beneficis* i 4.1.3. *Externalitats*, s'han pogut determinar els costos i beneficis agregats totals durant tots els anys de la seva vida útil en la Figura 19. Tots els preus estan actualitzats al 2017, ja que s'han modificat els paràmetres monetaris com bé s'explica en l'apartat 2.1.MA/T.

Com es pot observar en la Figura 19 amb aquest projecte, l'usuari del transport públic es veu molt afavorit i en canvi, els del vehicle privat de l'Avinguda Diagonal estaran perjudicats per la nova infraestructura (pèrdua de capacitat viària).

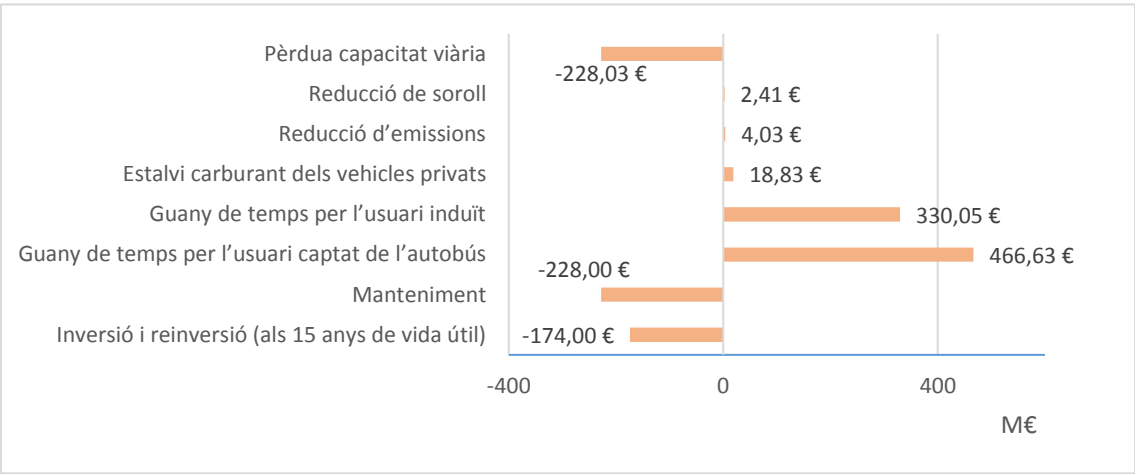


Figura 19. Gràfic dels resultats de l'Anàlisi Cost-Benefici per Tramvia en M€. Font: Elaboració pròpia

A continuació, es veuen els beneficis socials relatius de cada any:

ANY	BALANÇ (€)	ANY	BALANÇ (€)
2018	-104.000.000	2034	11.190.584
2019	8.984.870	2035	11.460.027
2020	9.317.100	2036	11.732.165
2021	9.650.579	2037	12.007.023
2022	9.989.028	2038	12.284.630
2023	10.332.523	2039	12.565.014
2024	10.681.138	2040	12.848.201
2025	11.034.951	2041	13.134.220
2026	11.394.040	2042	13.423.099
2027	11.758.484	2043	13.714.867
2028	12.128.363	2044	14.009.553
2029	12.503.759	2045	14.307.185
2030	12.884.753	2046	14.607.794
2031	13.269.330	2047	14.911.409
2032	13.659.676	2048	15.218.060
2033	-59.076.191		

Taula 26. Beneficis socials relatius de cada any fins al 2048. Font: Elaboració pròpia

En la Figura 20 es pot veure, any per any, el balanç negatiu o positiu que es tindrà. El primer any de la inversió i a meitat de la vida útil (2033, per causa de la reinversió en la infraestructura) es tindrà una caixa negativa. Els altres anys, hi haurà beneficis per l'Administració i aniran augmentant cada any fins al 2048, on s'arribarà a un balanç de 15,2 M€.

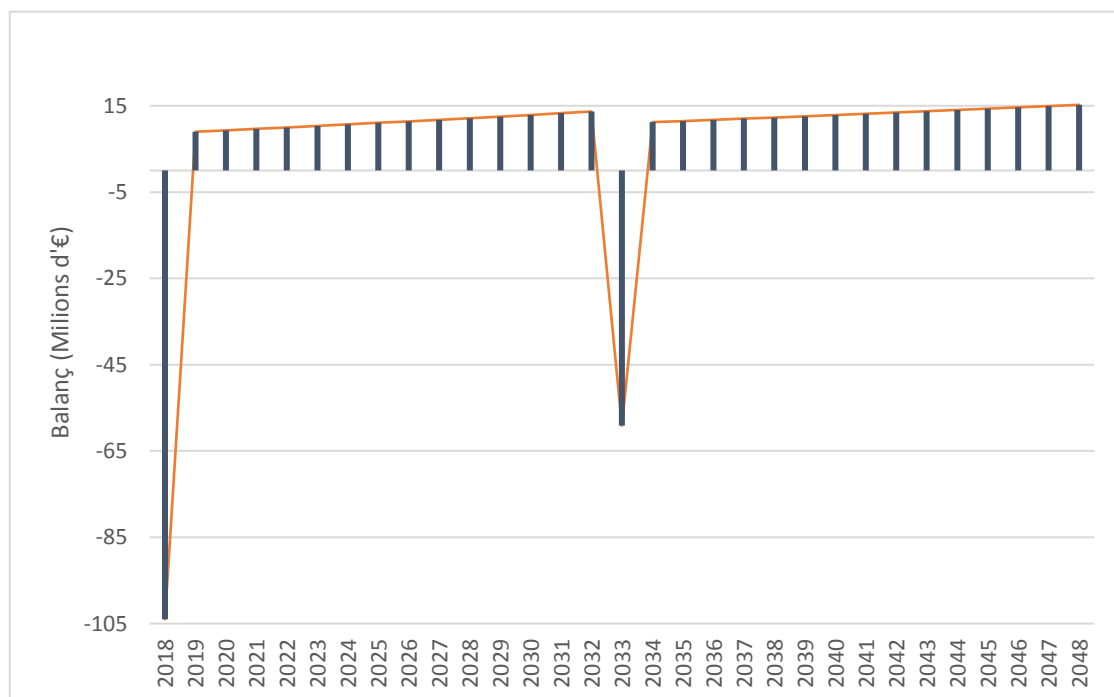


Figura 20. Gràfic dels balanços durant la vida útil de la infraestructura. Font: Elaboració pròpia

Com s'explica a l'apartat 1.1.1.*Etales de l'ACB*, per analitzar els resultats es treballarà amb el VAN i la TIR, dos valors molt útils per estudiar la rendibilitat d'un projecte.

En aquest cas aplicat, s'ha obtingut un valor de la **TIR del 8%**. Aquesta estimació, comparant amb altres TIR de projectes passats a la ciutat de Barcelona (1.1.1.*Etales de l'ACB*), es pot concloure com un valor positiu per la societat.

El valor del **VAN és de 23,5 M€**. Aquest valor torna a ser molt positiu per el benestar de la societat.

TIR total	8 %
VAN total	23,5 M€

La Taula 27 mostra el resultat final de l'Anàlisi Cost-Benefici per la guia MAIT del Tramvia a l'Avinguda Diagonal.

Any	Inversió i reinversió	Manteniment	Guany de temps usuari captat	Guany de temps usuari induït	Guany estalvi carburant	Reducció d'emissions	Reducció soroll	Pèrdua capacitat viària	BALANÇ
2018	-104.000.000	0,00	0	0	0	0	0	0	-104.000.000
2019	0	-6.000.000	12.748.267	9.017.067	627.759	112.441	80.271	-7.600.935	8.984.870
2020	0	-6.000.000	12.939.491	9.152.323	627.759	118.191	80.271	-7.600.935	9.317.100
2021	0	-6.000.000	13.133.583	9.289.608	627.759	120.293	80.271	-7.600.935	9.650.579
2022	0	-6.000.000	13.330.587	9.428.952	627.759	122.394	80.271	-7.600.935	9.989.028
2023	0	-6.000.000	13.530.546	9.570.386	627.759	124.496	80.271	-7.600.935	10.332.523
2024	0	-6.000.000	13.733.504	9.713.942	627.759	126.597	80.271	-7.600.935	10.681.138
2025	0	-6.000.000	13.939.506	9.859.651	627.759	128.699	80.271	-7.600.935	11.034.951
2026	0	-6.000.000	14.148.599	10.007.546	627.759	130.800	80.271	-7.600.935	11.394.040
2027	0	-6.000.000	14.360.828	10.157.659	627.759	132.902	80.271	-7.600.935	11.758.484
2028	0	-6.000.000	14.576.240	10.310.024	627.759	135.003	80.271	-7.600.935	12.128.363
2029	0	-6.000.000	14.794.884	10.464.674	627.759	137.105	80.271	-7.600.935	12.503.759
2030	0	-6.000.000	15.016.807	10.621.644	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	12.884.753
2031	0	-6.000.000	15.242.059	10.780.969	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	13.269.330
2032	0	-6.000.000	15.470.690	10.942.683	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	13.659.676
2033	-70.000.000	-9.000.000	15.625.397	11.052.110	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	-59.076.191
2034	0	-9.000.000	15.781.651	11.162.631	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	11.190.584
2035	0	-9.000.000	15.939.468	11.274.258	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	11.460.027
2036	0	-9.000.000	16.098.862	11.387.000	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	11.732.165
2037	0	-9.000.000	16.259.851	11.500.870	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	12.007.023
2038	0	-9.000.000	16.422.449	11.615.879	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	12.284.630
2039	0	-9.000.000	16.586.674	11.732.038	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	12.565.014
2040	0	-9.000.000	16.752.541	11.849.358	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	12.848.201
2041	0	-9.000.000	16.920.066	11.967.852	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	13.134.220
2042	0	-9.000.000	17.089.267	12.087.530	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	13.423.099
2043	0	-9.000.000	17.260.159	12.208.405	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	13.714.867
2044	0	-9.000.000	17.432.761	12.330.489	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	14.009.553
2045	0	-9.000.000	17.607.089	12.453.794	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	14.307.185
2046	0	-9.000.000	17.783.159	12.578.332	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	14.607.794
2047	0	-9.000.000	17.960.991	12.704.116	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	14.911.409
2048	0	-9.000.000	18.140.601	12.831.157	627.759	139.207	80.271	-7.600.935	15.218.060
TOTAL	-174.000.000	-228.000.000	466.626.576	330.052.944	18.832.783	4.033.848	2.408.134	-228.028.050	

Taula 27. Resultats finals de l'Anàlisi Cost-Benefici per la guia MAIT. Font: Elaboració pròpia

Els criteris d'avaluació marcats pel MAIT (Col·legi de Camins, Canals i Ports, 2010, explicats en l'apartat 2.1.MAIT, Taula 11), amb els resultats aconseguits, afirmen que la rendibilitat del projecte seria “bona” (Taula 28).

Rendibilitat	Molt bona	Bona
Teoria	$TIR > 2 \cdot \text{taxa de descompte}$	$TIR > \text{taxa de descompte}$
Pràctica	$8\% \geq 2 \cdot 6\%$	$8\% > 6\%$

Taula 28. Criteri d'avaluació en el cas del MAIT. Font: Elaboració pròpia

4.1.5. Anàlisi de sensibilitat

Com que aquests valors són molt sensibles al valor del temps, s'ha de fer una anàlisi de sensibilitat. En aquest, es realitzen els mateixos càlculs realitzats anteriorment, però s'estudien diferents hipòtesis canviant un paràmetre que s'ha determinat sense molta exactitud, com ara seria el temps de reducció dels usuaris. Els càlculs d'aquest apartat es troben en l'Apèndix 1.8.

a) Hipòtesi de la reducció de temps:

El guany del temps dels usuaris és de 2 minuts, en canvi dels 2,5 determinats. Els resultats són: una **TIR del 2%** i el **VAN és de -42 M€**. En la Taula 29 es determinen els resultats finals al cap dels 30 anys útils de la infraestructura amb aquesta modificació. Els beneficis del usuari del transport públic, la qualitat i els usuaris induïts són els factors que disminueixen gradualment.

	TOTAL (M€)
Inversió i reinversió (als 15 anys de vida útil)	-174
Manteniment	-228
Guany de temps per l'usuari captat de l'autobús	373,3
Guany de temps per l'usuari induït	264
Estalvi carburant dels vehicles privats	18,8
Reducció d'emissions	4,1
Reducció de soroll	2,4
Pèrdua capacitat viària	-228,1

Taula 29. Costos i beneficis agregats socials amb un guany de 2 minuts per l'usuari del transport públic. Font: Elaboració pròpia

Encara més, si es disminueix 30 segons més en el guany del temps dels usuaris, és a dir 1,5 minuts de benefici, els resultats són: una **TIR del -10%** i el **VAN és de -107,5 M€**. En canvi, si el temps guanyat és de 3 minuts, els indicadors són d'una **TIR del 13%** i una **VAN de 89 M€**.

La conclusió final d'aquesta hipòtesi, com es pot veure a la Taula 30, és que el temps de guany dels usuaris del transport públic és molt sensible a qualsevol canvi que es faci. Es per això que aquest component s'ha d'estudiar amb molta cura.

Minuts guanyats	TIR	VAN (M€)
3	13%	89
2,5	8%	23,5
2	2%	-42
1,5	-10%	-107,5

Taula 30. Diferència dels indicadors de rendibilitat amb la modificació dels minuts guanyats. Font: Elaboració pròpia

Per il·lustrar la importància d'aquest paràmetre, s'ha decidit calcular quin valor de temps de viatge fa que el VAN sigui igual a 0 suposant que no es produeix un canvi en cap de les altres variables. D'aquesta manera, valors de temps lleugerament inferiors als 3 minuts (més concretament, **2,32 minuts**) farien que el projecte deixés de ser atractiu des del punt de vista socioeconòmic.

Si es compara aquest 2,32 minuts que són el punt del mitjà entre la rendibilitat positiva i negativa del projecte, amb els 2,5 minuts que hem pres com a hipòtesi, només son **11 segons** de diferència de cada viatge. Aquesta diferència de temps es molt poc perceptible i un usuari difícilment s'adonaria d'aquesta variació.

b) Hipòtesi del valor del temps:

En l'estudi s'ha utilitzat un valor del temps de 11,66 €/hora, extret del tipus de usuari que viatja en el Tramvia de les línies Trambaix i Trambesòs (3.2.Dades per l'Anàlisi Cost-Benefici). Si es modifica el coeficient al 11,02 €/hora, com indica la guia si no hi ha més informació, els resultats són: una **TIR del 7%** i el VAN és de **10,95 M€**.

En aquesta hipòtesi, arribem a la deducció de que el valor és bastant sensible a les possibles modificacions del perfil de passatger que hi hagi a la infraestructura. D'aquesta manera, és pot demostrar que l'usuari del Tramvia a Trambaix i Trambesòs és més de gestions i negocis que la mitja del MAIT.

També s'ha de tenir en compte que la representació dels passatgers pot variar durant els anys útils de la infraestructura, degut al desenvolupament de projectes d'activitats a l'entorn de la Diagonal. En aquest cas podria donar-se una rendibilitat sensiblement superior a les obtingudes al treball, ja que s'ha observat que aquest factor és sensible a les modificacions.

En el cas hipotètic de que el perfil d'usuari de negocis i gestions augmentés del 16,2% dels passatgers al 25%, els valor del temps mitjà augmenta a 12,19 €/hora. Amb aquest canvi, la **TIR final seria de 9%** i el **VAN de 33,9 M€**.

En resum, com es pot veure en la Taula 31, la mínima modificació del valor de temps canvia substancialment el resultat final de rendibilitat del projecte, encara que tampoc és tant definitiu com en la hipòtesi A.

Valor del temps mitjà	TIR	VAN (M€)
12,19	9%	33,9
11,66	8%	23,5
11,02	7%	10,95

Taula 31. Hipòtesis valor de temps. Font: Elaboració pròpia

c) Hipòtesi de l'increment de la demanda:

En aquesta anàlisi s'ha utilitzat un augment de la demanda de 1,5% anualment els primers 15 anys i després d'un 1%.

Si es fa la hipòtesi de que l'increment de demanda no serà tan alt, on els primers 15 anys d'un 1% i després es manté, els resultats són: una **TIR del 6%** i el VAN és de **2,3 M€**. En el cas de que es faci la suposició de que la demanda serà més alta de la esperada, és a dir, els primers 15 anys un 2,5% per any i després al 2%, els resultats són: una **TIR del 11%** i el VAN és de **62,7 M€**.

En la Taula 32, es pot veure el resum dels diferents valors que prenen els indicadors VAN i TIR segons la diferent demanda suposada. Com a conclusió es pot determinar que l'augment o disminució de la demanda és sensible a la estimació de la rendibilitat, com en el cas del valor del temps (hipòtesi B), però no tant com els minuts guanyats per l'usuari del transport públic (hipòtesi A).

Increment de la demanda		TIR	VAN (M€)
Primers 15 anys	Últims 15 anys		
1%	0%	6%	2,3
1,5%	1%	8%	23,5
2,5%	2%	11%	62,7

Taula 32. Hipòtesi. Font: Elaboració pròpia

d) Anàlisi de sensibilitat del VAN:

Per veure amb més facilitat la diferència de sensibilitats dels diversos paràmetres, s'ha estudiat el VAN per a les tres hipòtesis amb un canvi del 20% en els temps o valors, Taula 33. Així, trobar de manera gràfica les variables i les seves modificacions.

	Temps de viatge	Valor del temps	Demanda
80%	-113,59	-41,98	8,60
100%	23,5	23,5	23,5
120%	218,08	89,05	39,40

Taula 33. Anàlisi de sensibilitat del VAN (M€) amb una modificació del 20%. Font: Elaboració pròpia

D'aquesta manera, s'ha arribat al gràfic "Tornado", Figura 21, on es veu clarament com la modificació del temps de viatge és molt sensible al petit canvi. Ara bé, amb una alteració del valor del temps o sobretot de la demanda, els resultats finals no varien tant.

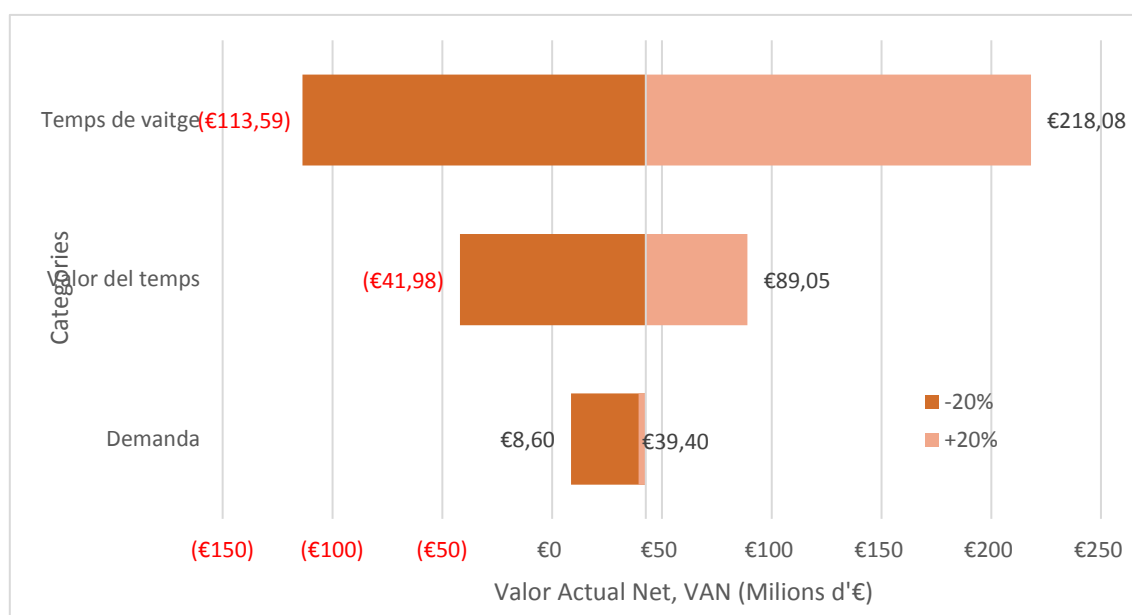


Figura 21. Gràfic tornado de l'anàlisi de sensibilitat de cada hipòtesis. Font: Elaboració pròpia

4.1.6. Resultats amb paràmetres del SAIT

En aquest apartat, s'ha creat un model propi amb els paràmetres del SAIT, però on la demanda no és fixa, és a dir, va canviant anualment. Aquesta característica, com s'explica en l'apartat 2.2.SAIT, és un dels punts més negatius de la guia SAIT ja que en aquesta es fa la hipòtesi de que la demanda es manté constant en els 30 anys de vida útil de la infraestructura.

S'ha provat aquesta combinació per veure quin canvi tenen realment els diferents paràmetres en el resultat final de la rendibilitat d'un projecte i si la sensibilitat d'aquests és molt alta. També en el canvi anteriorment esmentat entre demanda constant i variable anualment. I, per últim, la manera de valorar són diferents: el MAIT treballa amb costos reals (valor total) i el SAIT amb costos ombra (per evitar transferències internes).

Els paràmetres que s'han canviat estan determinats en la Taula 34. Aquests són els preus pels vehicles lleugers i no hi ha cap justificació de l'elecció d'aquests valors. Si es vol veure amb més detall els paràmetres com els dels vehicles pesants o el perquè de la tria, es pot trobar en els apartats 2.1.MAIT i 2.2.SAIT.

Valors	MAIT	SAIT
Taxa de descompte	6%	3%
Preus ombra inversió i manteniment	1 (es manté igual)	0,7
Ocupació mitjana	1,37	1,21
Valor del temps	11,66	9,15
Preu del CO ₂	No és constant	37 €/tona
Preu del NO _x	3.246,7 €/tona	4.964 €/tona
Preu del PM ₁₀	19.474,56 €/tona	14.429 €/tona
Consum de combustible	45,67 g/km	50,18 g/km
Cost de soroll	5,10 €/1000veh·km	8,8 €/1000veh·km

Taula 34. Comparativa dels paràmetres de les dues guies catalanes. Font: Elaboració pròpia

En la Figura 22 es mostren els beneficis agregats amb aquest nou model on la demanda no és fixa. Càlculs a l'Apèndix 2.2.

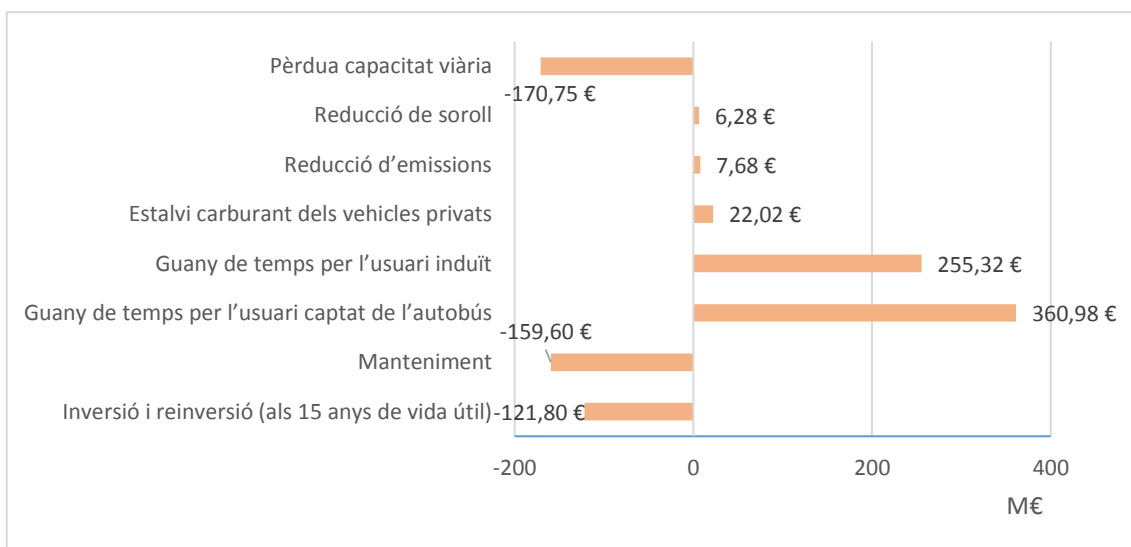


Figura 22. Gràfic dels costos i beneficis agregats del nou model. Font: Elaboració pròpia

En aquest cas i al igual que el cas de l'apartat 4.1.4.Resultats, l'usuari del transport públic segueix guanyant i el vehicle privat perd. Tot i així, com es pot observar en la Figura 23 on es diferencien els dos resultats, en aquest últim la diferència entre els guanys de l'usuari i les pèrdues de l'usuari del vehicle privat són menors: disminueix un 22,6% els beneficis dels usuaris del transport públic i disminueixen en un 25,1% els costos de l'usuari del vehicle privat, com es pot observar en la Taula 35. En quant a inversió i manteniment, degut als preus ombra del SAIT (2.2.SAIT), els balanços finals d'aquests són menors que en el cas del MAIT.

	Paràmetres MAIT	Paràmetres SAIT (model nou amb demanda no fixa)	Variació
Beneficis usuari transport públic (M€)	796,7	616,3	-22,6%
Costos usuari vehicle privat (M€)	-228	-170,8	-25,1%

Taula 35. Comparació dels guanys i pèrdues entre els tipus de transport i els diferents models. Font: Elaboració pròpia

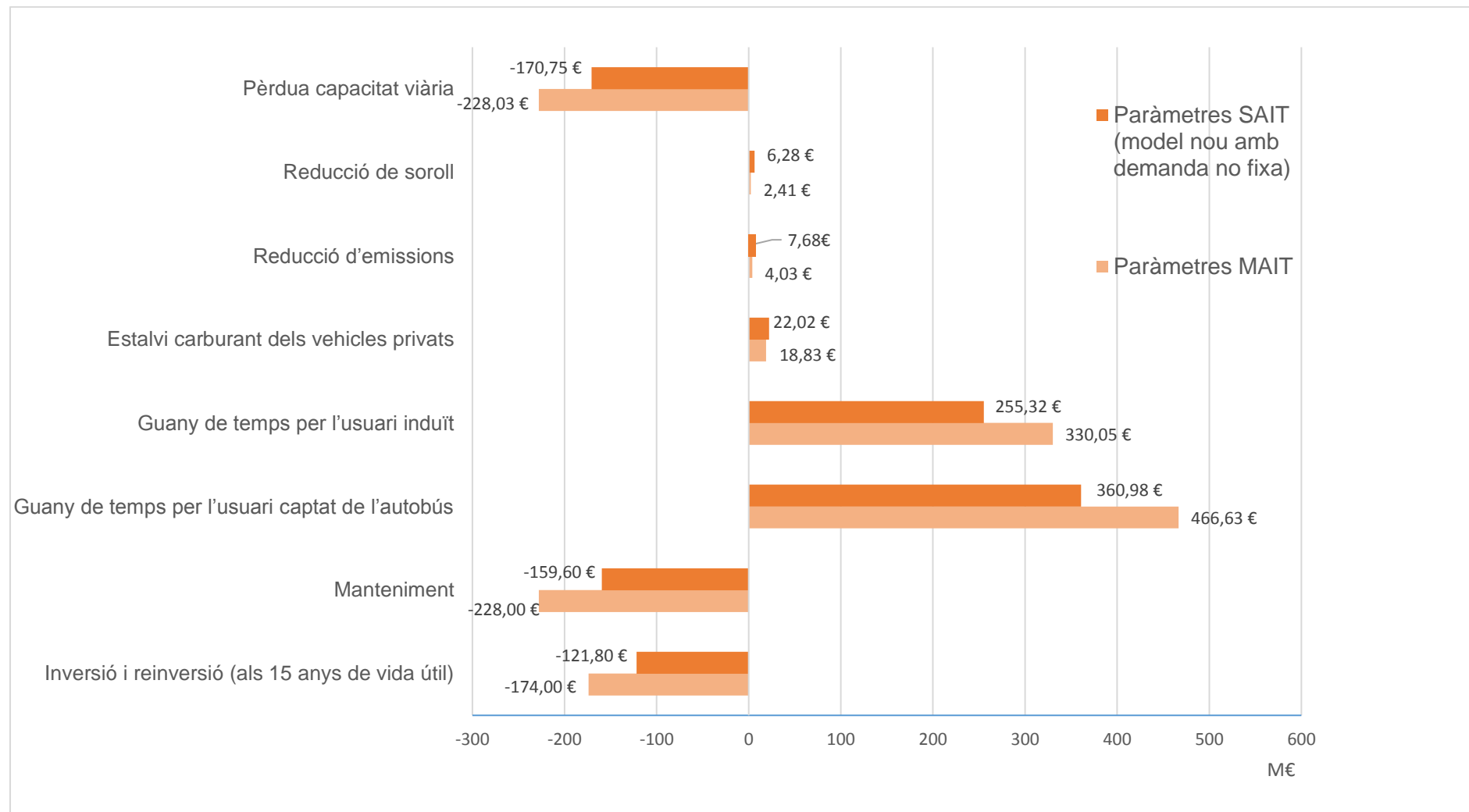


Figura 23. Comparació dels beneficis agregats entre el model del MAIT i el model del SAIT amb demanda no constant. Font: Elaboració pròpia

Al introduir aquests paràmetres en el nou model, els resultats finals són una **TIR del 11%** i un **VAN de 97,1 M€**. Comparant aquests indicadors amb els resultats del MAIT (TIR de 8% i un benefici anual de 23,5 M€) obtinguts a l'apartat 4.1.4.*Resultats*, es pot observar com la taxa interna de retorn és més alta, però en canvi el valor actual net és més baix.

TIR total	11 %
VAN total	97,1 M€

La Taula 38 mostra el resultat final de l'Anàlisi Cost-Benefici per la guia MAIT del Tramvia a l'Avinguda Diagonal.

Que els indicadors en el cas del model nou amb paràmetres del SAIT siguin més alts que els del MAIT es deu a la diferència de paràmetres entre les guies són diferents, però també perquè tenen metodologies diferents per a valorar els beneficis i costos: el MAIT treballa amb costos reals (valor total) i el SAIT amb costos ombra (per evitar transferències internes).

Aquest apartat és molt important per entendre com funcionen aquestes dues guies i els valors importants que fan que sigui el resultat final tan sensible.

Els criteris d'avaluació marcats pel MAIT (Col·legi de Camins, Canals i Ports, 2010, explicats en l'apartat 2.1.*MAIT*, Taula 11), amb els resultats aconseguits, afirmen que la rendibilitat del projecte seria “molt bona” (Taula 36), tenint en compte la taxa d'actualització recomanada pel SAIT (3%). En el cas d'agafar, la taxa de descompte recomanada pel MAIT (6%), el projecte tindria una rendibilitat “bona”.

Rendibilitat	Molt bona
Teoria	$TIR > 2 \cdot \text{taxa de descompte}$
Pràctica	$11\% > 2 \cdot 3\%$

Taula 36. Criteri d'avaluació en el nou model amb paràmetres del SAIT. Font: Elaboració pròpia

Per comprendre la importància que té la taxa de descompte (6% o 3%) de cada guia, en la Taula 37, es veu com amb diferents percentatges de la mateixa els resultats varien molt.

	Taxa de descompte 6% (recomanació del MAIT)		Taxa de descompte 3% (recomanació del SAIT)	
	VAN (M€)	TIR	VAN (M€)	TIR
Paràmetres MAIT	23,5	8%	80,5	8%
Paràmetres SAIT (model nou amb demanda no fixa)	43,7	11%	97,1	11%

Taula 37. Resultats finals amb diferents paràmetres i taxa de descompte. Font: Elaboració pròpia

Com s'observa a la Taula 37, en el cas de la TIR, es manté constant sense importar amb quina taxa de descompte s'estigui treballant. Ara bé, el valor actual net canvia molt depenent d'aquest paràmetre, es a dir, el VAN és molt sensible a la taxa de descompte. Si s'utilitzen els valors del MAIT, la disminució de la taxa de descompte fa que el VAN augmenti un 342,5%. En l'exemple dels paràmetres del SAIT, l'increment del VAN és de 227,7%.

Any	Inversió i reinversió	Manteniment	Guany de temps usuari captat	Guany de temps usuari induït	Guany estalvi carburant	Reducció d'emissions	Reducció soroll	Pèrdua capacitat viària	BALANÇ
2018	-72.800.000	0	0	0	0	0	0	0	-72.800.000
2019	0	-4.200.000	9.861.867	6.975.467	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	7.922.784
2020	0	-4.200.000	10.009.795	7.080.099	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	8.175.344
2021	0	-4.200.000	10.159.942	7.186.300	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	8.431.692
2022	0	-4.200.000	10.312.341	7.294.095	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	8.691.886
2023	0	-4.200.000	10.467.026	7.403.506	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	8.955.982
2024	0	-4.200.000	10.624.031	7.514.559	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	9.224.040
2025	0	-4.200.000	10.783.392	7.627.277	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	9.496.119
2026	0	-4.200.000	10.945.143	7.741.686	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	9.772.279
2027	0	-4.200.000	11.109.320	7.857.811	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	10.052.582
2028	0	-4.200.000	11.275.959	7.975.679	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	10.337.089
2029	0	-4.200.000	11.445.099	8.095.314	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	10.625.863
2030	0	-4.200.000	11.616.775	8.216.744	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	10.918.969
2031	0	-4.200.000	11.791.027	8.339.995	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	11.216.472
2032	0	-4.200.000	11.967.892	8.465.095	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	11.518.437
2033	-49.000.000	-6.300.000	12.087.571	8.549.746	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	-39.377.233
2034	0	-6.300.000	12.208.447	8.635.243	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	9.829.140
2035	0	-6.300.000	12.330.532	8.721.595	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	10.037.577
2036	0	-6.300.000	12.453.837	8.808.811	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	10.248.099
2037	0	-6.300.000	12.578.375	8.896.900	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	10.460.725
2038	0	-6.300.000	12.704.159	8.985.869	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	10.675.478
2039	0	-6.300.000	12.831.201	9.075.727	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	10.892.378
2040	0	-6.300.000	12.959.513	9.166.484	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	11.111.447
2041	0	-6.300.000	13.089.108	9.258.149	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	11.332.707
2042	0	-6.300.000	13.219.999	9.350.731	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	11.556.180
2043	0	-6.300.000	13.352.199	9.444.238	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	11.781.887
2044	0	-6.300.000	13.485.721	9.538.681	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	12.009.852
2045	0	-6.300.000	13.620.578	9.634.067	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	12.240.096
2046	0	-6.300.000	13.756.784	9.730.408	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	12.472.642
2047	0	-6.300.000	13.894.352	9.827.712	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	12.707.514
2048	0	-6.300.000	14.033.295	9.925.989	734.067	256.055	209.465	-5.691.556	12.944.735
TOTAL	-121.800.000	-159.600.000	360.975.276	255.323.975	22.022.002	7.681.646	6.283.959	-170.746.673	

Taula 38. Resultats finals de l'Anàlisi Cost-Benefici pel nou model amb paràmetres del SAIT. Font: Elaboració pròpia

4.2. SAIT

Com bé s'explica en l'apartat teòric del *Capítol I 2.2.SAIT*, la guia adjunta un Excel d'ajuda per calcular la rendibilitat es pot trobar a la web de Departament de Territori i Sostenibilitat, on es poden analitzar projectes de tot tipus de infraestructures.

En la part teòrica s'indiquen els diferents àmbits d'actuació per aquesta guia i les diferents característiques que té cadascun dels àmbits. En el nostre cas ens centrem en “Ferrocarrils: Nova línia, perllongament o desdoblament”.

S'ha de tenir en compte que aquesta guia pren una demanda constant durant els 30 anys de vida útil, i es per això que en l'apartat anterior *4.1.6.Resultats amb paràmetres del SAIT*, es fa un nou model on la demanda si que varia.

Aquest Excel calcula, per separat, el VAN de cada factor aplicant-li la taxa de descompte del 3% i després només suma tots els VAN per trobar el total. Es per això que els càlculs i resultats agregats seran diferents als de la guia MAIT, on primer es sumaven les quantitats netes i per cada any i, després s'aplica la taxa de descompte per trobar el VAN total.

4.2.1. Costos

Els costos de la inversió inicial, manteniment i d'explotació es prenen fixes. En aquest cas s'ha de tenir en compte els coeficients de preus ombra, *2.2.SAIT*. Especificat a l'apartat *3.2.1.Costos*.

VAN del Manteniment	-174,9 M€
VAN de l'Obra Civil	-35 M€
VAN del Material Mòbil	-74,9 M€
Càlculs: Apèndix 2.1	

4.2.2. Beneficis

Seguidament, es consideren els beneficis. Però, en primer lloc, es necessita pels següents apartats saber quin valor del temps (VdT) mitjà té aquest projecte (càlculs: Apèndix 3.1). Per calcular-ho, s'agafen els paràmetres del SAIT per a cada perfil de passatger (*2.2.SAIT*) i s'apliquen en l'estudi de tipus d'usuari del Tramvia del Trambaix i Trambesòs realitzat per l'IERMB (*3.2.Dades per l'Anàlisi Cost-Benefici*). Finalment, el

valor mitjà del temps per un usuari del Tramvia, segons el manual SAIT, és de 9,15 €/hora.

4.2.2.1. Usuaris

Es segueix l'Equació 10 per cada any de la infraestructura tenint en compte que la demanda augmenta (especificat en l'apartat 3.2. *Dades per l'Anàlisi Cost-Benefici*).

$$\text{Beneficis} = \text{Usuaris anuals guanyats} \cdot \text{temps estalviat} \cdot VdT$$

Equació 10

En el cas de l'Excel d'ajuda, s'ha d'introduir directament el temps estalviat mitjà anual (en hores). Aquest temps calculat és la suma entre tots els tipus de demanda: existent, captada i induïda (la meitat d'estalvi, explicació en l'apartat 1.1.1. *Etapas de l'ACB*).

En el nostre cas el temps estalviat va canviant, dependent de l'increment de demanda que hi hagi anualment, és a dir, la demanda no és constant. És per això que s'agafa el número mitjà d'usuaris (3.2.2.1. *Estudi de la demanda, Taula 24*) entre els 30 anys de vida útil de la infraestructura, Taula 39, tant pel temps dels usuaris captats del transport públic com dels usuaris induïts.

	Temps (hores)
Usuaris captats del transport públic	1.346.786
Usuaris induïts (1/2)	952.605
TOTAL	2.299.391

Taula 39. Temps mitjà estalviat anualment per cada tipus d'usuari. Font: Elaboració pròpia

Aquest temps total s'introdueix a l'Excel i aquest calcula el VAN d'aquest benefici pel 30 anys que dona un total de 412,4 M€.

VAN 412,4 M€
Càlculs: Apèndix 3.2

4.2.3. Externalitats

Per últim, s'estudien tots els efectes indirectes, és a dir, externalitats que el projecte del Tramvia produirà.

Per fer els següents apartats, s'ha de calcular l'ocupació de cada vehicle (càlculs: Apèndix 3.3). Ja que sabem que 15.000 usuaris deixaran de circular per l'Avinguda Diagonal, però no el número de vehicles. En el cas del SAIT, no dona diferents

ocupacions de vehicles per a cada perfil d'usuari, sinó que una ocupació mitja de 1,21 ocupants/vehicle fixa. Això fa que, diàriament, deixin de circular casi 12.400 cotxes.

4.2.3.1. Contaminació acústica

Amb la reducció de vehicles privats anuals (3.2.2.1. *Estudi de la demanda*) i el factors del SAIT (2.2. *SAIT*), s'arriba l'estalvi de 209,5 mil euros l'any (Equació 11 i Taula 40). D'aquesta manera, el VAN de la contaminació acústica és de 4,1 M€.

$$\text{Beneficis} = \text{Km estalviats anuals} \cdot \% \text{ veh lleugers} \cdot \text{Paràmetre SAIT veh lleugers}$$

Equació 11. Beneficis de la reducció de soroll dels vehicles lleugers. Font: Elaboració pròpia

Vehicles lleugers	119,5 k€
Vehicles pesants	89,9 k€

Taula 40. Beneficis anuals de tots els vehicles per la disminució de soroll. Font: Elaboració pròpia

VAN anual	209,5 k€
VAN total	4,1 M€
Càlculs: Apèndix 3.4	

4.2.3.2. Contaminació de l'aire

La disminució de vehicles privats reduirà la contaminació dels gasos CO₂, NO_x i PM₁₀ a l'Avinguda Diagonal (3.2.3.3. *Contaminació acústica, de l'aire i cost dels carburants*). L'Equació 12 mostra com s'ha calculat per a cada gas, en concret del CO₂, però s'utilitza per als tres casos.

$$\text{Beneficis} = \text{Cost CO}_2 \left(\frac{\text{€}}{\text{tona}} \right) \cdot \text{Combustió} \left(\frac{\text{g}}{\text{km}} \right) \cdot \text{Km estalviats anuals}$$

Equació 12. Beneficis anuals per la disminució de contaminació de gasos. Font: Elaboració pròpia

Al final, la Taula 41 mostra els beneficis de tots els gasos anuals. Aquests números introduïts a l'Excel, dona una VAN de 657 mil euros totals.

CO ₂	120,9 k€
NO _x	72,2 k€
PM ₁₀	63 k€

Taula 41. Beneficis anuals al disminuir l'emissió de gasos. Font: Elaboració pròpia

VAN anual	33,5 k€
VAN total	657 k€
Càlculs: Apèndix 3.5	

4.2.3.3. Cost dels carburants

La reducció de vehicles privats també estalvia diners en els carburants (2.2.SAIT) . En l'Equació 13 es calcula aquests beneficis actuals que, amb els paràmetres del SAIT, els resultats anuals són els de la Taula 42.

$$\text{€} = \text{Emisió veh} \left(\frac{\text{g}}{\text{km}} \right) \cdot \text{Densitat gasoil} \left(\frac{\text{L}}{\text{g}} \right) \cdot \text{Preu gasoil} \left(\frac{\text{€}}{\text{L}} \right) \cdot \text{Km estalviats anuals}$$

Equació 13. Beneficis anuals per la reducció de carburant utilitzat. Font: Elaboració pròpia

Vehicle lleuger benzina	287,6 k€
Vehicle lleuger gasoil	226,3 k€
Vehicle pesant gasoil	220,1 k€

Taula 42. Resultats beneficis anuals per la disminució de carburant utilitzat. Font: Elaboració pròpia

VAN anual	734,1 k€
VAN total	14,4 M€
Càlculs: Apèndix 3.6	

4.2.3.4. Pèrdua capacitat viària

Per estudiar aquesta part, es segueix tenint en compte el treball ja explicat a l'apartat 3.2.3.5. *Congestió per la reducció de la capacitat viària.*

L'increment en el cost de circulació viària (*Equació 4*) pel Tramvia equival a 0,091 €/veh·km. Llavors el cost final per la pèrdua de la capacitat viària en la Diagonal (*Equació 5*) és de 5,7M€.

Al final de la vida útil de la infraestructura el VAN d'aquesta pèrdua de capacitat serà de 92 M€ en costos.

VAN anual	-5,7 M€
VAN total	-92 M€
Càlculs: Apèndix 3.7	

4.2.4. Resultats

A partir de totes les dades que s'han exposat en els apartats anteriors 4.2.1.Costos, 4.2.2.Beneficis i 4.2.3.Externalitats, s'han pogut determinar els costos i beneficis.

Obra Civil	-35 M€
Matèria mòbil	-75 M€
Manteniment	-174,9 M€
Temps	412 M€
Cost operació vehicles (cost carburant i pèrdua capacitat viària)	-77,6 M€
Pol·lució	2,4 M€
Canvi Climàtic	2,6 M€
Soroll	4,1 M€

Taula 43. VAN dels costos, beneficis i externalitats del Tramvia en la Diagonal. Font: Elaboració pròpia

Com s'explica a l'apartat 1.1.1.*Etales de l'ACB*, per analitzar els resultats es treballarà amb el VAN i la TIR, dos valors molt útils per estudiar la rendibilitat d'un projecte.

En aquest cas aplicat, s'ha obtingut un valor de la **TIR del 8%**. Aquesta estimació, comparant amb altres TIR de projectes passats a la ciutat de Barcelona (1.1.1.*Etales de l'ACB*), es pot concloure com un valor bastant positiu per a la societat, encara que s'hauria d'estudiar amb més detall.

El valor del **VAN és de 68,7 M€**. Aquest valor si que és molt positiu per el benestar de la societat.

TIR total	8 %
VAN total	68,7 M€

La Taula 46 mostra la matriu agents-impactes d'aquest cas. També s'indica el VAN, la TIR i el ràtio VAN/inversió calculat.

En aquest cas de la guia SAIT, com que no tenen cap criteri d'avaluació, utilitzarem, com a una orientació, els criteris marcats pel MAIT (Col·legi de Camins, Canals i Ports, 2010, explicats en l'apartat 2.1.*MAIT*, Taula 11). Tot i així, el ràtio VAN/inversió és positiu (0,59), 2.2.*SAIT*. Amb els resultats aconseguits, s'afirma que la rendibilitat del projecte seria "molt bona" (Taula 44), tenint en compte la taxa d'actualització recomanada pel SAIT (3%).

Rendibilitat	Molt bona
Teoria	$TIR > 2 \cdot \text{taxa de descompte}$
Pràctica	$8\% > 2 \cdot 3\%$

Taula 44. Criteri d'avaluació del model del SAIT. Font: Elaboració pròpia

Per acabar, en la Taula 45 es compara el VAN i la TIR en els tres models estudiants anteriorment. Com es pot observar, el canvi de demanda constant a demanda fixa i la metodologia dels preus ombra fa que els resultat final variï bastant.

	VAN	TIR
Paràmetres MAIT	23,5 M€	8%
Paràmetres SAIT (model nou amb demanda no fixa)	97,1 M€	11%
Paràmetres SAIT (demanda mitja)	68,7 M€	8%

Taula 45. Resultats finals amb els tres models analitzats. Font: Elaboració pròpia

	AGENTS				SUMATORI ACB
	Administració	Usuaris		No usuaris (societat)	
		Turismes	Tramvia		
Obra civil	-35.000.000,00				-35.000.000,00
Material mòbil	-74.900.000,00				-74.900.000,00
Manteniment Infr	-174.933.939,04				-174.933.939,04
Temps		0,00	412.382.001,12		412.382.001,12
Cost.op.veh		-77.568.531,68			-77.568.531,68
Fiabilitat		0,00	9.600.000,00		9.600.000,00
Pol·lució				2.369.004,85	2.369.004,85
Canvi climàtic				2.649.783,24	2.649.783,24
Soroll				4.105.612,15	4.105.612,15
SUMATORI AGENTS	-284.833.939,04	-77.568.531,68	421.982.001,12	4.761.719,27	
					VAN total
					68.703.930,63
					VAN total/inversió
					0,63
					TIR
					7,7%

Taula 46. Matriu agents-impactes pel Tramvia en la Diagonal. Font: Elaboració pròpia en l'Excel d'ajuda del SAIT

4.2.5. Anàlisi de sensibilitat

Com que aquests valors són molt sensibles al valor del temps, s'ha de fer una anàlisi de sensibilitat.

L'Excel d'ajuda ja té un full explícitament per l'anàlisi de sensibilitat del projecte. En el nostre cas, el següent gràfic (Figura 24) és la demostració de la sensibilitat del valor del temps al VAN final.

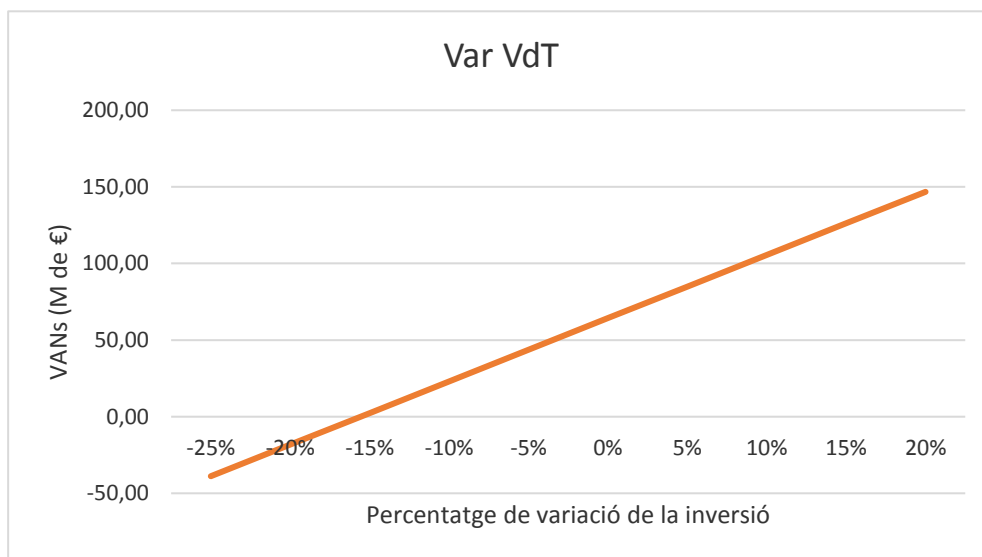


Figura 24. Variació del VAN segons el percentatge de modificació del valor del temps.
Font: Elaboració pròpia amb l'Excel d'ajuda (DGIMT, 2015)

4.3. Anàlisi de sensibilitat general pel MAIT i SAIT

Al final d'aquest treball, no només s'ha de fer un estudi de la sensibilitat dels paràmetres escollits, sinó que també dels factors o externalitats que no s'han tingut en compte en aquest treball per la complexitat de la seva anàlisi.

El primer factor que no s'ha pogut analitzar és el temps de construcció del Tramvia. En aquest període les emissions per la mateixa obra i per la congestió del tràfic al disminuir la capacitat viària de l'Avinguda, augmentaran. És difícil de calcular aquest valor en les emissions, però en el cas del temps perdut de la congestió deguda a les obres, es podria fer la hipòtesis de que cada vehicle perd 1 minut de viatge (Lahoz, M., 2015). Tot i així, al no poder monetitzar tots els valors i com fa l'Ajuntament de Barcelona (2016), es descarten els costos provocats per la construcció de la infraestructura, ja que són temporals i no haurien de tenir una gran importància en el resultat final.

Seguidament, un altre paràmetre que no s'ha tingut en compte és la influència de l'ona verda del Tramvia. Encara que el Tramvia capti a usuaris del vehicle privat i s'hagi estudiat si els carrils de circulació restants són capaços d'absorbir el nou flux (3.2.3.5. *Congestió per la reducció de la capacitat viària*), no s'ha contemplat com es veurà afectat el vehicle privat que circuli per l'Avinguda Diagonal (benefici) o el que la travessi (cost) per l'ona verda del Tram. Aquest cas és molt complex de preveure i es necessitaria fer un estudi de demanda molt enrevessat.

Un altre factor important amb el que no s'ha pogut treballar és amb les línies d'autobús ja existents, ja que molts dels nous usuaris (3.2.2.1. *Estudi de la demanda*) provenen del bus. El futur d'aquestes amb la implantació del Tramvia pot ser molt diferent en cada cas. Si es tracta d'una línia de bus amb molts usuaris, gràcies a la disminució de viatgers i el temps de benefici de l'ona verda (si circula en la direcció de l'Avinguda), la nova infraestructura faria reduir el temps de viatge i també milloraria el confort dels passatgers, però el cost de manteniment, la contaminació acústica i les emissions es mantindrien constants. Per altra banda, si es tracta d'una línia d'autobús que té pocs usuaris, amb la reducció de viatgers aquesta línia deixaria de ser rentable per la societat i s'hauria de baixar la freqüència o, fins i tot, eliminar alguna d'elles. En aquest cas, el temps de viatge (per als pocs passatgers) augmentaria però disminuiria dràsticament el cost de funcionament (manteniment, soroll i emissions). Com es pot entendre, aquest factor és tan poc previsible que és casi impossible arribar a uns costos o beneficis pels 30 anys de vida útil de la infraestructura.

Entre el bus i el tramvia, un dels factors més important per l'usuari és la millora de confort. Però, com bé s'ha explicat en la teoria, no hi ha una metodologia consensuada per la seva monetarització. Aquesta limitació és bastant transcendent, però al no es poder-la tenir en compte, es conservatiu per l'estudi.

Tot seguit, un altre paràmetre que no s'ha pogut analitzar amb detall és la pèrdua de temps per la baixa freqüència de parades en el Tramvia. És a dir, un vianant que vulgui circular amb el Tram, tindrà una parada a cada 500-600 metres, fent que el seu temps de viatge augmenti. La complexitat per saber quant és el temps mitjà que perd l'usuari mitjà, si es que perd temps (pot fer transbord), és molt alta i no s'ha pogut analitzar amb més detall en aquest treball.

Per últim, s'ha tingut en compte que als 15 anys de vida útil, hi haurà una reinversió en la infraestructura i el material mòbil. Això serà degut a l'augment de demanda que es produirà en aquesta meitat de vida útil, però podria ser el cas de que la demanda augmentés més del previst. Amb aquesta circumstància, s'hauria de reinvertir més capital de l'acordat per a que el viatger no perdés confort ni tampoc se li augmentés el temps de viatge.

Com a conclusió, tots els factor esmentats en aquest apartat podrien analitzar-se, però degut a la seva complexitat i a la naturalesa d'aquest treball, no s'han pogut estudiar amb més detall.

4.4. MIVES

Per aquesta part del treball s'utilitza el programari del MIVES, desenvolupat pel Ferrán Cortés (UPC-Barcelona Tech) i Alejandro Josa (IS.UPC i UPC-BarcelonaTech), entre d'altres l'any 2009.

Com bé s'explica al Capítol I, en el punt 2.3.MIVES, aquest mètode no és monetari i s'utilitza una anàlisi Multicriteri (1.4.Anàlisi multicriteri). La principal diferència és que el plantejament de tot model de valoració és anterior a la creació i valoració d'alternatives, i així no existeix cap influència de les valoracions de les alternatives evitant que es produeixi qualsevol tipus de subjectivitat.

El programa informàtic es divideix en tres mòduls: Programador, Usuari i Report (Figura 25). En aquest ordre és com es van introduint el plantejament de les possibles alternatives i els pesos i funcions de valor de cada indicador.



Figura 25. Capçalera dels tres mòduls del MIVES. Font: Programa MIVES

En el nostre cas, al haver descartat ja les diferents alternatives com ara el bus D-30 o altres rutes de bus (3.1.Alternatives del projecte), es compararà l'opció principal del Tramvia per l'Avinguda Diagonal amb el cas base. El cas base és l'alternativa zero, és a dir, en l'escenari on no es construeix res i es deixés com està ara.

El primer mòdul, Programador, es crea el model concret pel projecte i es defineixen les alternatives del nostre cas. Per començar, s'introdueixen els límits del sistema: el cicle de vida, l'arbre de components i l'arbre de requeriments. En el cas pràctic de l'Avinguda Diagonal, el cicle de vida es divideix en dos apartats: període de construcció i temps d'ús (la majoria de la vida útil de la infraestructura).

L'arbre de requeriments, Figura 26, són tots aquells criteris i indicadors que poden influir de manera directa o indirecta a qualsevol de les dues alternatives. Com bé s'explica en

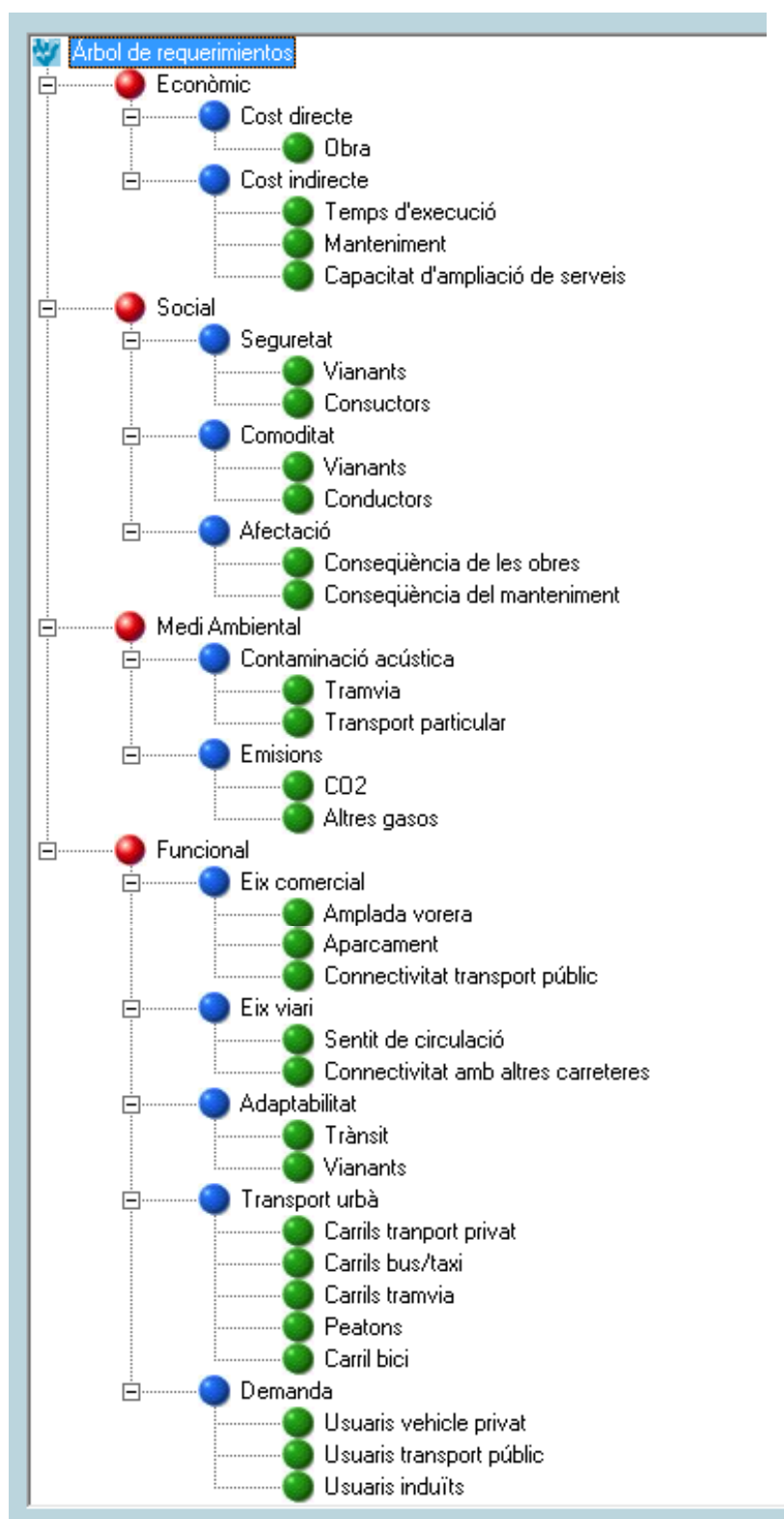


Figura 26. Arbre de requeriments pel cas de l'Avinguda Diagonal. Font: Elaboració pròpia en el programa MIVES

l'apartat teòric 2.3.MIVES, cada requeriment pot tenir varis criteris i, cada criteri pot tenir també diferents indicadors. Després d'haver definit els diferents factors, s'ha de concretar les unitats dels indicadors, si són continus o discrets o si la variable és

determinista o probabilista. També, dels mateixos indicadors, s'indica la funció de valor (continua o escalonada), amb que es valorarà cada indicador.

Abans de finalitzar amb el mòdul Programador, també s'ha de fixar el pes que tindrà cada indicador. Això es pot fer a partir del mètode de les proporcions o la metodologia AHP (1.4.Anàlisi multicriteri). En el cas aplicat, s'ha utilitzat el mètode directe (per proporcions), ja que es basa en comparar la importància de cada aspecte amb un altre considerat com a referència (Figura 27). Aquesta metodologia és molt còmoda i apta per utilitzar quan existeix un aspecte de referència que sigui fàcil de comparar amb els restants, com és el cas pràctic actual.

Directo	Puntuación	Peso (%)
Usuarios vehicle privat	30,00	30,00
Usuarios transport público	40,00	40,00
Usuarios induits	30,00	30,00
TOTAL	100,00	100,00 %

Método de ponderado

☐ AHP (SAATY)
☒ Directo

Cancelar

Aceptar

Figura 27. Matriu de pesos del criteri de Demanda. Font: Elaboració pròpia en el programa MIVES

Per decidir el pes de cada requeriment, criteri i indicadors, es recomana que es col·labori amb un conjunt d'experts per a fer una anàlisi exhaustiu de quina importància tenen entre els mateixos factors. En el cas d'aquest treball, s'ha intentat definir els pesos de la manera més objectiva possible.

En el segon mòdul, Usuari, a partir del model creat prèviament en el Programador, s'introdueixen els diferents valors dels indicadors per a cada una de les alternatives a avaluar.

Finalment, en el tercer mòdul, Report, s'arriba al resultat final (Taula 47) en unitats normalitzades del pes que té cada indicador amb l'Alternativa 1 (Cas Base) i l'Alternativa 2 (Tramvia).

(R1) Econòmic		
(R1C1) Cost directe		
(R1C1I1) Obra	0,95	0,21
(R1C2) Cost indirecte		
(R1C2I1) Temps d'execució	0,94	0,21
(R1C2I2) Manteniment	0,84	0,31
(R1C2I3) Capacitat d'ampliació de serveis	0,33	0,81
(R2) Social		
(R2C1) Seguretat		
(R2C1I1) Vianants	0,50	0,71
(R2C1I2) Consuctors	0,37	0,61
(R2C2) Comoditat		
(R2C2I1) Vianants	0,31	0,90
(R2C2I2) Conductors	0,81	0,31
(R2C3) Afectació		
(R2C3I1) Conseqüència de les obres	0,90	0,31
(R2C3I2) Conseqüència del manteniment	0,76	0,31
(R3) Medi Ambiental		
(R3C1) Contaminació acústica		
(R3C1I1) Tramvia	0,09	1,00
(R3C1I2) Transport particular	0,11	1,00
(R3C2) Emisions		
(R3C2I1) CO2	0,10	1,00
(R3C2I2) Altres gasos	0,08	1,00
(R4) Funcional		
(R4C1) Eix comercial		
(R4C1I1) Amplada vorera	0,31	0,90
(R4C1I2) Aparcament	0,31	0,21
(R4C1I3) Connectivitat transport públic	0,10	0,81
(R4C2) Eix viari		
(R4C2I1) Sentit de circulació	0,61	0,21
(R4C2I2) Connectivitat amb altres carreteres	0,51	0,71
(R4C3) Adaptabilitat		
(R4C3I1) Trànsit	0,10	1,00
(R4C3I2) Vianants	0,21	0,81
(R4C4) Transport urbà		
(R4C4I1) Carrils transport privat	0,61	0,21
(R4C4I2) Carrils bus/taxi	0,41	0,71
(R4C4I3) Carrils tramvia	0,00	1,00
(R4C4I4) Peatons	0,41	0,61
(R4C4I5) Carril bici	0,61	0,81
(R4C5) Demanda		
(R4C5I1) Usuaris vehicle privat	0,81	0,10
(R4C5I2) Usuaris transport públic	0,41	0,86
(R4C5I3) Usuaris induïts	0,10	0,61

Taula 47. Pes en unitats normalitzades de tots els indicadors del MIVES. Font: Elaboració pròpia en el programa MIVES

D'aquesta manera, la suma total dels pesos es troba en la Taula 48 i, amb a la conseqüent decisió de que l'alternativa del Tramvia és mes rendible que el cas base, ja que té més puntuació.

	Total
Alternativa Cas Base	0,432
Alternativa Tramvia	0,506

Taula 48. Resultat final en unitats normalitzades MIVES. Font: Elaboració pròpia

Com també s'explica en l'apartat teòric, en el mòdul Report també es pot extreure un full de càlcul amb les dades pures del model. En la , s'analitza el percentatge de importància que té cada requeriment per a les dues alternatives.

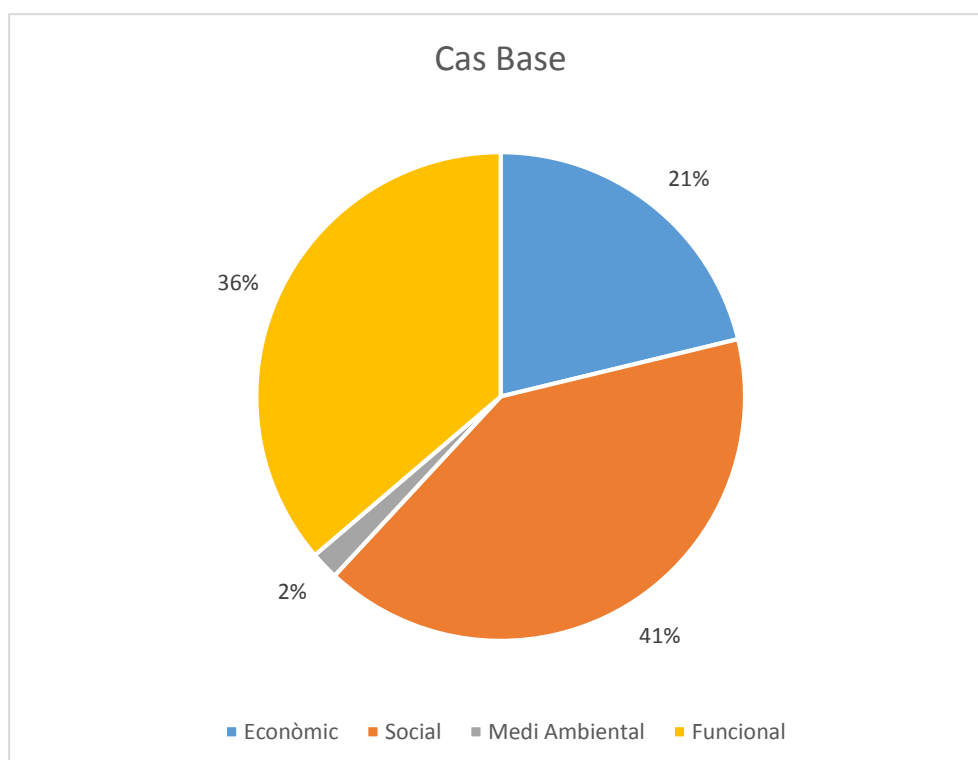


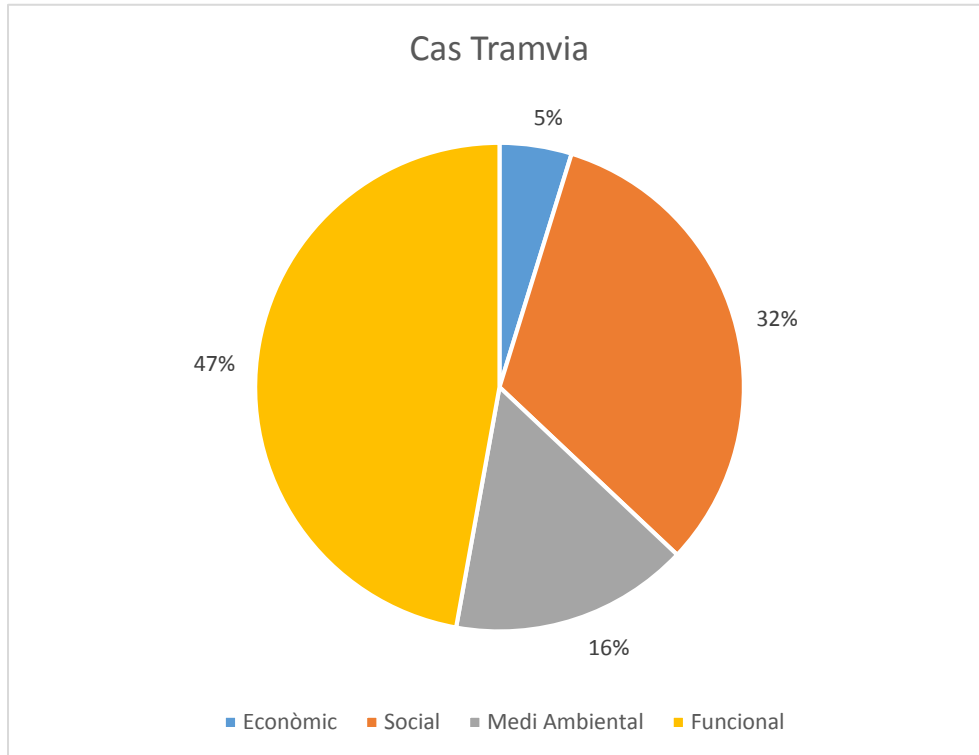
Figura 28. Pesos dels requeriments en l'alternativa del Cas Base. Font: Elaboració pròpia

En els dos casos, els requeriments més pesants són el social i el funcional. En el cas Base però, el pes econòmic és bastant alt (no costaria res) i el pes medi ambiental és molt baix, ja que no disminuiria el trànsit de vehicles privats.

Amb l'alternativa de construir el Tramvia passa justament el contrari: econòmicament no surt rendible, però és molt beneficiós pel medi ambient.

A l'hora de decidir si un projecte és socioeconòmicament rendible, el MIVES no et dona informació sobre si una inversió és bona. Aquest compara entre les possibles alternatives i la situació base sobre un mateix cas, però els resultats finals no es poden

comparar amb un projecte totalment diferent per decidir en quin s'inverteix. És a dir, el MIVES ajuda per la presa de decisions si les alternatives són mínimament semblants, però com que no es monetitzen tots els factors no es pot comparar entre alternatives molt diferents.



*Figura 29. Pesos dels requeriments en l'alternativa del Cas Tramvia.
Font: Elaboració pròpia*

L'informe final del MIVES es troba en l'Apèndix 4.

El MIVES exigeix que l'informe es faci amb una base d'experts, amb la finalitat de fer un estudi exhaustiu i professional. En aquest cas pràctic l'objectiu principal no és analitzar si el projecte del tramvia és viable o no, sinó d'estudiar la utilitat que té aquest manual en la presa de decisions en un cas com el del Tramvia a la Diagonal. Per tant, el que s'ha realitzat és una simulació d'un informe.

.

CONCLUSIONS

Les conclusions d'aquest treball es poden dividir en dos grans apartats: en el raonament de les guies d'avaluació i les diferents metodologies, i en els resultats finals del cas pràctic i les seves interpretacions.

Del primer capítol, es pot deduir que l'anàlisi òptim per estudiar projectes d'inversions públiques és l'ACB, per la facilitat de poder comparar resultats finals amb qualsevol altre projecte. Les altres anàlisis es poden realitzar com a suplement al cost-benefici, però no com l'estudi principal, ja que els resultats finals no mostren si un projecte es rendible socioeconòmicament o per l'alta subjectivitat que presenten els mètodes no quantitius.

Al analitzar més detalladament el MAIT, s'ha trobat que es treballa sempre amb costos totals. És a dir, l'informe es realitza calculant els valors totals. En canvi, el SAIT pren un percentatge dels valors totals, i els anomena preus ombra, ja que hi ha una part que reflecteix el seu cost d'oportunitat social. El que realitza la guia SAIT és passar de preus de mercat a preus d'ombra, evitant així les transferències internes.

Així mateix, una altra diferència és com s'analitza la demanda: constant o variable amb el pas dels anys fins a la vida útil de la infraestructura. El SAIT demana les hores estalviades anualment, sense tenir en compte que els usuaris poden augmentar en els 30 anys. En el MAIT es defineix la demanda inicial i el creixement de la demanda durant els anys de vida útil del projecte. L'últim contrast important entre les dues guies monetàries és la diferència de coeficients com el valor del viatge, o d'emissions de gasos dels vehicles privats.

Per altra banda, el MIVES que, tot i que s'introdueixen alguns valors quantitius, al final acaba fent una multicriteri. Aquesta anàlisi és dependent dels pesos de cada indicador i de com es defineixen les corbes d'avaluar.

A l'hora de decidir si un projecte és socioeconòmicament rendible, el MIVES no et dona informació sobre si una inversió és bona, només compara alternatives. El model MIVES representa un avanç en termes d'estudis de valoració d'anàlisi Multicriteri, ja que dona al mètode gran objectivitat i claredat dels procediments. Això promou major legitimitat de la valoració, ja que un anàlisi d'aquest tipus és bastant subjectiu.

Després d'haver analitzat amb més profunditat els manuals d'altres països o zones, cada guia té la seva metodologia i manera de fer l'informe socioeconòmic. Encara així, l'element clau que tenen en comú són les tres fases principals d'una Anàlisi Cost-

Benefici: definició del projecte, avaluació d'impactes, interpretació dels resultats a partir dels indicadors de rendibilitat i criteris de decisió establerts.

Del segon apartat, el cas pràctic, la conclusió principal és que, tot i les diferències esmentades anteriorment entre els manuals, quan s'ha aplicat un projecte i unes mateixes dades bàsiques per les tres guies, els resultats finals no donen molt diferents. És per això que, encara que són metodologies diferents, es pot assegurar que el MAIT i el SAIT són mètodes molt comparables. El MIVES compara entre les possibles alternatives i la situació base sobre un mateix cas, però els resultats finals no es poden comparar amb un projecte totalment diferent per decidir en quin s'inverteix.

Si es comparen els resultats de les dues guies monetàries, segons els criteris d'avaluació del MAIT, la rendibilitat del projecte és "molt bona" (cas SAIT) i "bona" (cas MAIT i model nou amb paràmetres del MAIT). Malgrat tot, l'anàlisi de sensibilitat ens mostra que el temps de viatge, si es redueix 10 segons, l'indicador VAN passaria a ser negatiu, és a dir, no atractiu des del punt de vista socioeconòmic. Els altres paràmetres també tenen un paper important en el resultat final, però la reducció del temps de viatge és el més sensible amb diferència. La qüestió important ara és si un viatger que agafi el tramvia cada dia per anar a treballar, notarà aquests 10 segons de diferència en el viatge.

El MIVES exigeix que l'informe es faci amb una base d'experts, amb la finalitat de fer un estudi exhaustiu i professional. En aquest treball s'ha realitzat una simulació de l'informe, i així veure si es podria arribar a la mateixa conclusió que els manuals monetaris. Però, com que el MIVES només compara entre alternatives semblants d'un projecte, no es pot equiparar als resultats del MAIT i SAIT.

Com a punt a favor del MIVES, té en compte factors que no es poden monetitzar com el confort del passatger. En aquest cas, com que els usuaris fan el canvi intermodal de bus a tramvia, aquest factor seria positiu.

Com a conclusió final, aquest treball ajuda a comprendre com funcionen els manuals d'avaluació i, en el cas aplicat, la xarxa del tramvia surt que és rendible, però no un projecte d'alta prioritat per la ciutat de Barcelona.

BIBLIOGRAFIA

- ADIF (2013). *Manual para la evaluación de Inversiones en ferrocarril*. Dirección General de Explotación y Construcción, Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, Ministerio de Fomento, Gobierno de España.
- Aguilera, R. et al. (2011). *Evaluación social de proyectos. Orientaciones para su aplicación*. Departamento de Economía – Facultad de Ciencias Sociales, UDELAR.
- Ajuntament de Barcelona (2014). *PMU 2013-2018*. Pla de Mobilitat Urbana a Barcelona. 5 de març de 2014.
- Ajuntament de Barcelona (2015). *Dades bàsiques de mobilitat del 2014*. Direcció de Serveis de Mobilitat. Amb col·laboració del Departament de Comunicació, Prevenció, Seguretat i Mobilitat.
- Ajuntament de Barcelona (2016). *Estudis per a la connexió de les xarxes Trambaix i Trambesòs. Avaluació Social, Econòmica i Ambiental*.
- Ajuntament de Barcelona (2017). *Balanç d'Accidentalitat del 2016*. Dossier de premsa.
- ATM (2009). *Pla Director d'Infraestructures de la regió metropolitana de Barcelona 2001-2010*. Autoritat del Transport Metropolità de Barcelona.
- ATM (2013). *Pla Director d'Infraestructures del transport públic col·lectiu de la regió metropolitana de Barcelona 2011-2020*. Autoritat del Transport Metropolità de Barcelona.
- BTE (1999). *Facts and fuphies in benefit-cost analysis: transport*. Bureau of Transport Economics. Australia.
- CASES (2007). *Energy-related External Cost due to Land Use Changes, Acidification and Eutrophication, Visual Intrusion and Climate Change*. Cost Assessment of Sustainable Energy Systems. Institute for Environmental Studies (IVM), VU University Amsterdam, SWECO (Norway) and Wageningen University, Environmental Economics and Natural Resources Group.

Col·legi de Camins, Canals i Ports de Catalunya (2010). *Mètode d'Avaluació d'Infraestructures del transport (MAIT)*. Guia per a l'avaluació de projectes de transport. MCRIT i GEE (Gabinet Estudis Econòmics).

de Rus, G. (2008). *Análisis coste-beneficio evaluación económica de políticas y proyectos de inversión*. 3rd ed. Barcelona: Ariel.

Department for Communities and Local Government: London (2009). *Multi-criteria analysis: a manual*. United Kingdom.

DGIMT, (2015). *El Sistema d'Avaluació d'inversions en transport (SAIT)*. Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre. Amb la col·laboració de CENIT, ATM (Autoritat del Transport Metropolità) infraestructures.cat, Departament d'Economia i Coneixement, Departament de Territori i Sostenibilitat.

DGT. *Dirección General de Tráfico*. Ministerio del Interior, Gobierno de España.

EIB (2013). *The economic appraisal of investment projects at the EIB*. European investment Bank. Projects Directorate. March 2013.

European Commission (2015). *Guide to cost-benefit analysis of investment projects economic appraisal tool for cohesion policy 2014-2020*. European Union.

FTIP (2003). *Federal Transport Infrastructure Plan 2003: Macroeconomic evaluation methodology*. Federal Ministry of Transport, Building and Housing. Germany.

HM Treasury (2011). *THE GREEN BOOK: Appraisal and evaluation in central government treasury guidance*. Treasury Guidance. London: TSO (The Stationery Office).

IDESCAT. *Institut d'Estadística de Catalunya*. Generalitat de Catalunya.

INE. *Instituto Nacional de Estadística*. Secretaría de Estado de Economía y Apoyo a la Empresa. Ministerio de Economía de España.

Ivàlua (2009). *Guia pràctica 6: Avaluació econòmica. Col·lecció Ivàlua de guies pràctiques sobre avaluació de polítiques públiques*. Institut Català d'Avaluació de Polítiques Públiques.

- Josa, A. (2012). *Introducción a MIVES y el análisis multicriterio*. Universitat Politècnica de Catalunya. Exposición en Bilbao, 20 de enero de 2012.
- Josa, A., Aguado, A., Marques, A., Cortés, F. and Viñolas, B. (2009). *MIVES: Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles*. Cimne, Barcelona.
- Lahoz, M. (2015). *Projecte bàsic de reforma de l'Avinguda Diagonal entre Plaça Francesc Macià i Plaça Glòries. Connexió de la xarxa Tramviària: Trambaix i Trambesòs*. Treball final de grau de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports.
- MCRIT (2011). *Avaluació de rendibilitat socioeconòmica de la connexió de les xarxes de Tramvia de Barcelona per la Diagonal*. Amb la col·laboració de GEE i TRAM.
- MINETAD (2017). *Precios de carburantes y combustibles, datos de Febrero de 2017*. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, Gobierno de España.
- Ripoll, F. (2014). *Extensió de la línia 7 del tramvia de París. Athis-Mons – Juvisy-sur-Orge*. Annex 09, Anàlisi Multicriteri.
- Ruiz, D. (2015). *Anàlisi Cost-Benefici de tres alternatives de connexió de les xarxes de Tramvia Trambaix i Trambesòs*. Treball final de grau de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports.
- TBCS (2007). *Canadian Cost-Benefit Analysis Guide: Regulatory Proposals*. Treasury Board of Canada Secretariat.
- TfNSW (2013). *Principles and guidelines for economic appraisal of transport investment and initiatives*. Transport for NSW. Government of New South Wales. March 2013.
- TRAM (2009). *Enquesta de satisfacció dels clients del Trambaix en dia feiner. Enquesta de satisfacció dels clients del Trambesòs en dia feiner*. IERMB per Tramvia Metropolità SA.

